

Technische Universität Darmstadt

Fachbereich Vermessungswesen
Institut für Physikalische Geodäsie

Diplomarbeit:

Erstellung eines Programmes zur statistischen Untersuchung von Erdbebenverteilungen

Bearbeiter: cand. ing. Matthias Liebetanz

Betreuer: Prof. Dr. C. Gerstenecker

Ausgabe: 15.4.1998

Abgabe: 14.7.1998

Vorwort	3
 1. Einleitung	
Erdbebenentstehung	4
 2. SEISMOLAP – Beschreibung des Verfahrens	
Berechnung von S_1 , $\langle S_1 \rangle$ und $\langle S_2 \rangle$	6
Mittlerer Fehler von S_1	8
Mittlerer Fehler von $\langle S_1 \rangle$	10
Mittlerer Fehler von $\langle S_2 \rangle$	10
Mittlere Fehler der Meßwerte	11
Überprüfung der Signifikanz von S_1	11
Überprüfung einer Anomalie auf Signifikanz mit der Pearson Typ III Verteilung	12
Definition der Pearson Typ III Verteilung	12
 3. Programmbeschreibung SLAP	
Menu File	14
Menu Edit	15
Menu Lap	21
Menu View	21
Untersuchung des Erdbebenkatalogs	
Überblick über den Erdbebenkatalog	24
Berechnung von $\langle S_1 \rangle$ für einen Punkt der Erdkruste, Darstellung in einer Zeitreihe	25
Räumliche und zeitliche Darstellung der SEISMOLAP - Anomalie vor dem Sapanca Erdbeben	29
Darstellung der mittleren Fehler von $\langle S_1 \rangle$	31
Überprüfen von $\langle S_1 \rangle$ auf Signifikanz	33
Berechnung von $\langle S_2 \rangle$ für das Hypozentrum des Sapanca-Bebens, Darstellung in einer Zeitreihe	36
Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung (Pearson Typ 3) von $\langle S_2 \rangle$ für das Hypozentrum des Sapanca-Bebens, Darstellung in einer Zeitreihe	38

5. Zusammenfassung und Ausblick.....	39
Literaturverzeichnis	41
Abbildungsverzeichnis	42
Verwendete Hard- und Software	44
Anhang A: Programm- und Datenstruktur von SLAP	45
Anhang B: Auflistung und Einteilung der IDL - Unterprogramme	50
Anhang C: Beispiel eines IDL - Unterprogramms: defined.pro.....	51
Anhang D: Hinweise zur Installation von SLAP	53

Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit entstand am Institut für Physikalische Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt.

Allen die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich hiermit herzlich danken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. C. Gerstenecker danke ich für die Übertragung dieser Diplomarbeit sowie für seine vielen hilfreichen Anregungen und seine hervorragende Betreuung.

Meinen Eltern danke ich für die moralische und finanzielle Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit und während des gesamten Studiums.

1. Einleitung

Die Zahl der Erdbebenunglücke hat in den vergangenen Jahrzehnten zugenommen. Als Ursache für diese Entwicklung kommt vor allem die Besiedlung erdbebengefährdeter Gebiete als Folge des größer werdenden Siedlungsdrucks in Frage.

In dem Maße, in dem Menschen und ihr Eigentum durch Erdbeben gefährdet werden, steigt das Interesse, verlässliche Vorhersagemethoden zu finden, um das Risiko für die Menschen möglichst gering zu halten.

Die Forschung verwendet in diesem Feld erst seit Ende letzten Jahrhunderts wissenschaftliche Methoden. Die Zusammenhänge sind komplex und es wurden bisher noch keine genügend genauen mathematisch - deterministischen Modelle entwickelt. Dies ist aber notwendig, um die Entstehung von Erdbeben zu simulieren bzw. zuverlässige Vorhersagen auf künftige Erdbeben abzuleiten. Das in dieser Arbeit untersuchte Verfahren, SEISMOLAP (von: „seismic overlapping“), entwickelt von Jochen Zschau am Geoforschungszentrum Potsdam, ist der Versuch, aufbauend auf einem statistischen Verfahren zur Quantifizierung von Erdbebenverteilungen auch Lösungen für die Extrapolation der Erdbebenaktivitäten in die nahe Zukunft zu finden.

Erdbebenentstehung

Nach der Ursache unterscheidet man Einsturzbeben, die beim Einsturz unterirdischer Hohlräume entstehen, vulkanische oder Ausbruchsbeben, die als Begleiterscheinungen des Vulkanismus auftreten, und tektonische oder Dislokationsbeben. Letztere kommen am häufigsten vor; sie sind meist Folge von Brüchen oder Verschiebungen in der Erdkruste und treten, oft mit verheerender Wirkung, besonders in den jungen Faltungs- und Bruchgebieten der Erdkruste auf (Randgebiete des stillen Ozeans, Randzonen der Faltengebirge im Süden Asiens und Europas, Ost – Afrika). Die bei den Verschiebungen entstehenden Spannungen der Erdkruste akkumulieren sich, bis die Bruchgrenze des Plattenmaterials überschritten wird. Je größer die Energie ist, die beim Bruch frei wird,

desto größer ist die meßbare Stärke des Erdbebens. Eine Annahme über Erdbeben ist: wenn in einem erdbebengefährdeten Gebiet ständig mittlere bis kleine Erbeben vorkommen, sinkt die Wahrscheinlichkeit für ein großes Erdbeben, da dann die Spannungen in kleinen Schritten abgebaut werden. Die zweite Annahme ist: treten in einem erdbebengefährdeten Gebiet über einen relativ langen Zeitraum nur wenige oder keine Erdbeben auf, steigt die Wahrscheinlichkeit für ein großes Beben. Als Bezeichnung für eine derartige seismische Anomalie verwendet man die Begriffe „seismisches Fenster“ oder „seismische Lücke“. Das vorherrschende Ziel in der modernen Erdbebenforschung ist es, Gebiete mit solchen Lücken zu finden und Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von großen Beben zu ermitteln. Die Verfahren hierzu sind verschieden.

SEISMOLAP versucht, durch ein einfaches mathematisches Verfahren die räumliche und zeitliche Verteilung von Erdbeben zu beschreiben. Im nachfolgendem Kapitel wird das Verfahren erläutert.

Im dritten Kapitel werden die Funktionen des erstellten Programms beschrieben.

Im vierten Kapitel wird der Erdbebenkatalog, auf dessen Grundlage das Programm entwickelt wurde, untersucht und die Ergebnisse vorgestellt.

Kapitel 5 faßt die Ergebnisse der Arbeit zusammen.

2. SEISMOLAP – Beschreibung des Verfahrens

Berechnung von S_1 , $\langle S_1 \rangle$ und $\langle S_2 \rangle$

SEISMOLAP drückt die Verteilung von Erdbeben in Raum und Zeit in einer Variablen aus.

Berechnet wird der Seismolap – Wert S_1 für einen Punkt im Raum sowie für eine dem Punkt zugeordnete Epoche. Jedem Punkt sowie jedem Beben wird ein Würfel mit der Seitenlänge $X=Y=Z$ (in [m]) sowie die Epoche der Messung bzw. ein Zeitpunkt des Bebens (in [Julian seconds]) zugeordnet. Ein Zeitfenster T (in [s]) bestimmt, welche Erdbeben noch Einfluß auf den SEISMOLAP – Wert haben (siehe auch Abb. 1). Die Summe der räumlichen und zeitlichen Überlappungen aller Erdbeben an einem Gitterpunkt liefert dessen Seismolap-Wert S_1 :

$$S_1(x_q, y_q, z_q, t_q) = \sum_{q=0}^N (X - |x_q - x|) \cdot (Y - |y_q - y|) \cdot (Z - |z_q - z|) \cdot (T - (t - t_q)) \quad (1)$$

mit

N Anzahl der Erdbeben im Katalog

$q = 0 \dots N$ Index eines Erdbebens im Katalog

oder kürzer:

$$S_1 = \sum_{q=0}^N l_q(x) \cdot l_q(y) \cdot l_q(z) \cdot l_q(t) \quad (2)$$

mit

$$l_q(x) = X - |x_q - x|$$

$$l_q(y) = Y - |y_q - y|$$

$$l_q(z) = Z - |z_q - z|$$

$$l_q(t) = T - (t - t_q)$$

S_1 wird normalisiert, indem durch das Volumen des vierdimensionalen Würfels dividiert wird:

$$\langle S_1 \rangle = \frac{S_1}{(X \cdot Y \cdot Z \cdot T)} \quad (3)$$

Um seismische Ruhephasen besser erkennen zu können, wird die negative Inverse berechnet:

$$\langle S_2 \rangle = \frac{-1}{\langle S_1 \rangle} \quad (4)$$

Schließlich kann man, um die Signifikanz einer seismischen Anomalie zu überprüfen, die Wahrscheinlichkeitsdichte von (4) berechnen. Dazu wurde die Pearson Verteilung, Typ III benutzt. Als Stichprobenraum wurde der dreifache Wert von T genommen. Der Stichprobenraum enthält T und bewegt sich mit T um

$$\frac{T}{T_{i+1} - T_i} \cdot$$

Die Wahrscheinlichkeit kann als Funktion der Zeit grafisch dargestellt werden. Siehe Ende des Kapitels.

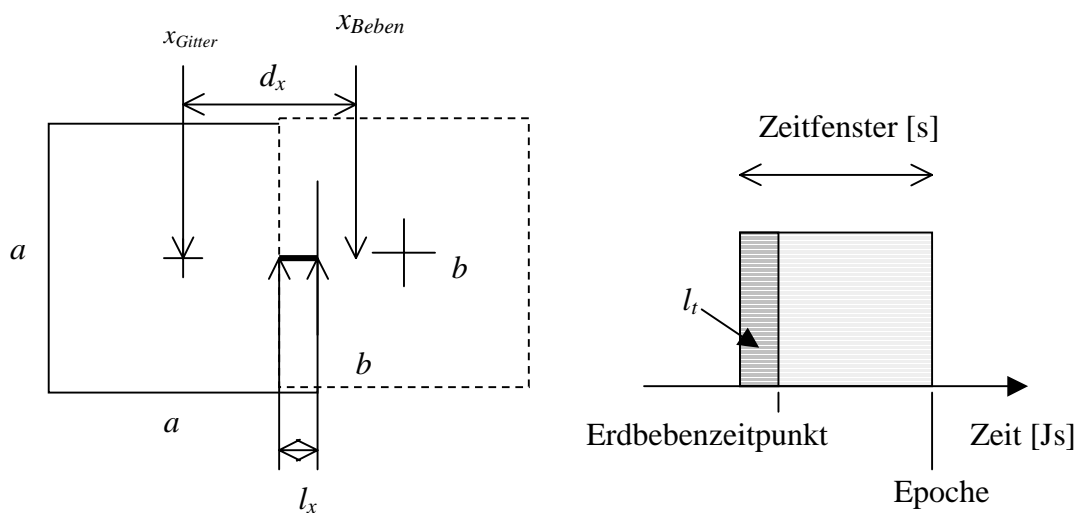


Abbildung 2.1: Räumliche und zeitliche Verschneidung

Mittlerer Fehler von S_1

Die Auswirkungen fehlerbehafteter Meßgrößen auf den SEISMOLAP – Wert eines Gitterpunktes lassen sich berechnen, indem auf die Formel zur Berechnung des SEISMOLAP – Wertes das Fehlerfortpflanzungsgesetz angewendet wird.

Logarithmieren des inneren Ausdrucks von (2) ergibt:

$$\ln S_1 = \ln l_q(x) + \ln l_q(y) + \ln l_q(z) + \ln l_q(t) \quad (5)$$

Bilden des totalen Differentials:

$$\frac{dS_1}{S_1} = \frac{d(l_q(x))}{l_q(x)} + \frac{d(l_q(y))}{l_q(y)} + \frac{d(l_q(z))}{l_q(z)} + \frac{d(l_q(t))}{l_q(t)} \quad (6)$$

Multiplikation mit S_1 , Ersetzen der Differentiale durch die geschätzten Standardabweichungen der Meßgrößen sowie abschließendes Quadrieren ergeben die geschätzte Varianz von S_1 :

$$\sigma_{S_1}^2 = \left[\frac{\sigma_{l_q(x)}}{l_q(x)} + \frac{\sigma_{l_q(y)}}{l_q(y)} + \frac{\sigma_{l_q(z)}}{l_q(z)} + \frac{\sigma_{l_q(t)}}{l_q(t)} \right]^2 \cdot S_1^2 \quad (7)$$

Die gemischten Glieder der quadratischen Gleichungen sind die Kovarianzen zwischen den Messungen x , y , z und t , die bei Annahme unabhängiger Beobachtungen null werden. Der Ausdruck vereinfacht sich zu:

$$\sigma_{S_1}^2 = \left[\frac{\sigma_{l_q(x)}^2}{l_q(x)^2} + \frac{\sigma_{l_q(y)}^2}{l_q(y)^2} + \frac{\sigma_{l_q(z)}^2}{l_q(z)^2} + \frac{\sigma_{l_q(t)}^2}{l_q(t)^2} \right] \cdot S_1^2 \quad (8)$$

Man sieht: der mittlere Fehler des Seismolap – Wertes S_1 für ein Erdbeben ist direkt vom Quotienten:

Fehler der Lokalisierung im Quadrat / Überlappung im Quadrat abhängig.

Schließlich ergibt sich für die Varianz von S_1 (alle Erdbeben berücksichtigt):

$$\sigma_{S_1}^2 = \sum_{q=0}^N S_1^2 \quad (9)$$

Alternativ wird nun die Varianz σ_{S_1} nach dem allgemeinen Fehlerfortpflanzungsgesetz entwickelt.

Die Varianz σ_{S_1} für den SEISMOLAP – Wert eines Ortes ist:

$$\sigma_{S_1} = \sqrt{\sum_{q=0}^N \left(\frac{\partial S}{\partial x} \sigma_x \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y} \sigma_y \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial z} \sigma_z \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial t} \sigma_t \right)^2} \quad (10)$$

Die Differentialquotienten lauten:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial x} &= l(y) \cdot l(z) \cdot l(t) \\ \frac{\partial S}{\partial y} &= l(x) \cdot l(z) \cdot l(t) \\ \frac{\partial S}{\partial z} &= l(x) \cdot l(y) \cdot l(t) \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= l(x) \cdot l(y) \cdot l(z) \end{aligned} \quad (11)$$

Schließlich ergibt sich:

$$\sigma_{S_1} = \sqrt{\sum_{q=0}^N \left[\left(l_q(y) \cdot l_q(z) \cdot l_q(t) \cdot \sigma_x \right)^2 + \left(l_q(x) \cdot l_q(z) \cdot l_q(t) \cdot \sigma_y \right)^2 + \left(l_q(x) \cdot l_q(y) \cdot l_q(t) \cdot \sigma_z \right)^2 + \left(l_q(x) \cdot l_q(y) \cdot l_q(z) \cdot \sigma_t \right)^2 \right]} \quad (12)$$

Mittlerer Fehler von $\langle S_1 \rangle$

Aus Gleichung (3) ergibt sich:

$$\sigma_{\langle S_1 \rangle}^2 = \frac{\sigma_{S_1}^2}{(X \cdot Y \cdot Z \cdot T)^2} \quad (13)$$

Mittlerer Fehler von $\langle S_2 \rangle$

Logarithmieren der Gleichung für $\langle S_2 \rangle$ ergibt:

$$\ln \langle S_2 \rangle = -(\ln 1 - \ln \langle S_1 \rangle) \quad (14)$$

Bilden des totalen Differentials:

$$\frac{d \langle S_2 \rangle}{\langle S_2 \rangle} = \frac{d \langle S_1 \rangle}{\langle S_1 \rangle}$$

Ersetzen der Differentiale durch die Standardabweichungen, Multiplizieren mit $\langle S_2 \rangle$ sowie Quadrieren ergibt:

$$\sigma_{\langle S_2 \rangle}^2 = \frac{\sigma_{\langle S_1 \rangle}^2}{\langle S_1 \rangle^2} \cdot \langle S_2 \rangle^2 \quad (15)$$

Schließlich erhält man nach Ersetzen von $\langle S_2 \rangle$ durch $\langle S_1 \rangle$ sowie von $\langle S_1 \rangle$ durch S_1 :

$$\sigma_{\langle S_2 \rangle}^2 = \sigma_{S_1}^2 \cdot (X \cdot Y \cdot Z \cdot T)^2 \quad (16)$$

Mittlere Fehler der Meßwerte

Für den im Rahmen dieser Diplomarbeit untersuchten Erdbebenkatalog gibt es Schätzwerte für die Standardabweichungen s_x , s_y und s_z .

Jedem Erdbeben ist ein sogenannter „quality-factor“ zugeordnet, der die geschätzte Genauigkeit der Lokalisation angibt:

Qualität	Güte der Lokalisation (Lage)
1	< 2 km
2	zwischen 2 und 5 km
3	zwischen 5 und 10 km
4	> 10 km
(0)	> 25 km, lediglich aufzeichnende Station angegeben

Tabelle 2.1: Zuordnung von Lokalisierungsfehlern zu einem "quality-factor"

Für die Zeit wird der Meßfehler mit $\sigma_t = \pm 0.001$ s angenommen.

Überprüfung der Signifikanz von S_1

Um die Aussagekraft der berechneten SEISMOLAP-Werte zu überprüfen, wird die Wahrscheinlichkeit $P(t_S, F)$ berechnet, daß eine Zufallsvariable X kleiner oder gleich dem relativen Fehler von S_1 , t_{S1} ist. Die Teststatistik t_{S1} hat eine t (Student) – Verteilung mit F Freiheitsgraden unter der Annahme, daß S_1 mit $N(0, 1)$ normalverteilt ist, und σ_{S1} eine χ^2 -Verteilung besitzt.

$$t_{S_1} = \frac{\sigma_{S_1}}{S_1} \quad (26)$$

F Anzahl der beteiligten Beben an einem Berechnungspunkt für eine Epoche

Überprüfung einer Anomalie auf Signifikanz mit der Pearson Typ III Verteilung

Um die Signifikanz einer Seismolap-Anomalie zu prüfen, wird die Pearson Typ III Verteilung Wahrscheinlichkeitsdichte von (4) berechnet.

Als zeitlichen Hintergrund (Stichprobenraum) wurde der dreifache Wert des Zeitfensters T gewählt. Er enthält T und bewegt sich mit T um

$$\frac{T}{T_{i+1} - T_i} \cdot$$

Definition der Pearson Typ III Verteilung:

Die Pearson Typ III Verteilung ist eine schiefe Verteilung, ähnlich der Binomialverteilung, wenn $p \neq q$ (Abramowitz und Stegun 1972, S. 930).

$$y = k(t + A)^{A^2-1} \cdot e^{-At} \quad \text{für } t \in [0, \infty] \quad (17)$$

mit

$$A \equiv \frac{2}{\gamma} \quad (18)$$

$$k \equiv \frac{A^{A^2} \cdot e^{-A^2}}{\Gamma(A^2)} \quad (19)$$

$\Gamma(z)$ ist die Gamma – Funktion, und t ist die Standardabweichung.

Eine andere Form ist:

$$P(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(p)} \cdot \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{p-1} \cdot \exp\left(-\frac{x - \alpha}{\beta} \right) \quad (20)$$

Die charakteristische Funktion ist:

$$\phi(t) = e^{i\alpha} \cdot (1 - i\beta t)^{-p} \quad (21)$$

Der Mittelwert, die Varianz, die Schiefe sowie die Kurtosis (Exzess) sind:

$$\mu = \alpha + p\beta \quad (22)$$

$$\sigma^2 = p\beta^2 \quad (23)$$

$$\gamma_1 = \frac{2}{\sqrt{p}} \quad (24)$$

$$\gamma_2 = \frac{6}{p} \quad (25)$$

3. Programmbeschreibung SLAP

Das Programm SLAP ist fast ausschließlich in der Programmiersprache IDL (Interactive **D**ata **L**anguage) von der Firma Research Systems Incorporated geschrieben. Lediglich die rechenintensive Verschneidung wurde in C als Unterprogramm programmiert und wird als Dynamic Link Library - File (kurz: DLL) vom IDL - Hauptprogramm aus aufgerufen. Um die Bedienung möglichst effizient zu machen und um eine von Windows gewohnte Funktionalität zu erreichen, ist das Programm mit einer Windows - Benutzeroberfläche ausgestattet. Das Ergebnis ist ein ereignisgesteuertes, modular strukturiertes Programm, das eine einheitliche Datenstruktur zum Austausch der Daten zwischen den Unterprogrammen besitzt. Aufgrund der guten Modularisierung der verschiedenen Funktionen kann es einfach erweitert werden.

Soweit sinnvoll, sind alle Dialogfenster, in denen Änderungen an den Programmparametern gemacht werden können, mit der Möglichkeit ausgestattet, die Änderungen zu übernehmen (**Ok**) oder sie zu verwerfen (**Cancel**). In den Fällen, in denen die Dialoge hierarchisch angeordnet sind (im Folgenden gekennzeichnet mit einem Pfeil ->), müssen die Änderungen in allen höheren Ebenen mit **Ok** bestätigt werden, um übernommen zu werden.

Es folgt eine kurze Beschreibung der Menüs.

File -> Close

Löscht alle programmbezogenen Daten aus dem Hauptspeicher.

File -> Open

Lädt

- Erdbebenkataloge im ASCII-Format.
- Binäre Dateien im IDL - eigenen Format (Extension '.sav'). Diese Dateien sind schneller einlesbar als ASCII - Dateien und enthalten

außer den Erdbebendaten auch Daten, die durch weitere Bearbeitung entstanden sind, so z.B. Parameter des räumlichen Gitters.

File -> Save as

Speichert eine Arbeitssitzung im binären IDL-Format ‚sav‘ ab.

File -> Exit

Beendet das Programm.

Edit -> Grid Parameter (Abb. 3.1)

Öffnet eine Dialogbox, die zum einen eine Zusammenfassung der wichtigsten Eckdaten des geöffneten Erdbebenkatalogs zeigt und zum anderen zu den Funktionen führt:

- Setzen eines Raufensters (**Set spatial window**)
- Setzen eines Zeitfensters (**Set time window**)
- Anzeigen der größten im Katalog vorkommenden Erdbeben (**Main events**)

Edit -> Grid Parameter -> Set spatial window (Abb. 3.2)

Hier können die Grenzen des räumlichen Gitters, das über das interessierende Gebiet gelegt werden soll, eingestellt werden:

- Minimale und maximale geographische Länge (in [Grad])
- Minimale und maximale geographische Breite (in [Grad])
- Minimale und maximale Tiefe (in [m])

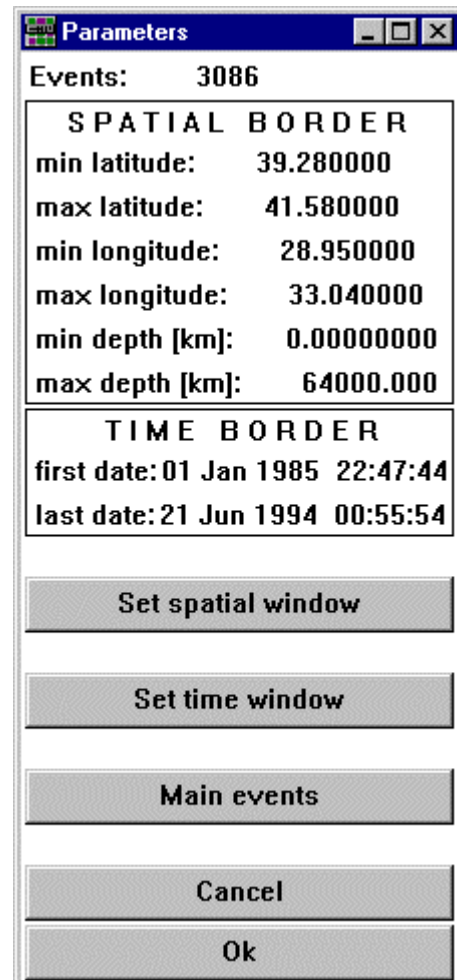


Abbildung 3.1: Dialogbox zur Einstellung der SEISMOLAP - Parameter

Es ist möglich, Länge und Breite über die Tastatur einzugeben oder aber das Fenster mit der Maus zu ziehen (**Set coordinates with mouse**)

Weiterhin können eingegeben werden:

- Die Seitenlänge des Gitterwürfels (**Cube length**, in [m]).
- Die Rasterweite des Gitters in Längen- und Breitenrichtung (**Grid spacing**, in [grad]).
- Die Rasterweite des Gitters in z – Richtung (**Z - spacing**, in [m]).
- Die Seitenlänge des Erdbebenwürfels (**Cube length**, in [m]) kann auch unabhängig von dem Gitterwürfel eingestellt werden. Diese Funktion ist standardmäßig ausgeschaltet.

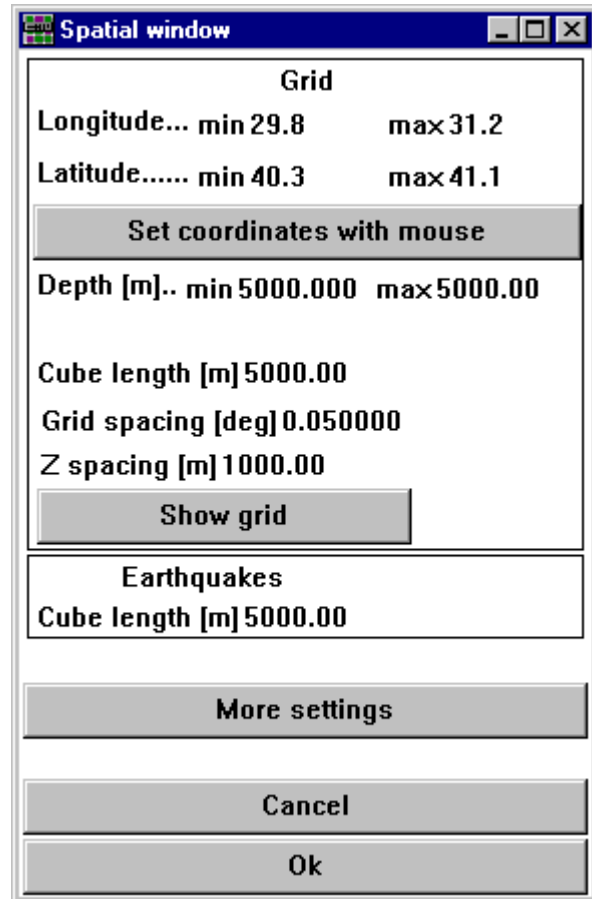


Abbildung 3.2: Einstellung des räumlichen Fensters

Das erzeugte Gitter kann jederzeit graphisch dargestellt werden (**Show grid**).

Edit -> Grid Parameter -> Set spatial window -> More settings (Abb. 3.3)

Die Einstellungen dieses Dialogfensters beziehen nicht nur auf das vorhergehende Dialogfeld. Es kann auch eingestellt werden, daß

- die Seismolap – Werte normalisiert werden **sollen** (**Normalize SEISMOLAP values**, $\langle S_1 \rangle$ siehe Kap. 2).

- auch die seismische Ruhe (S_2) (siehe Kapitel 2) berechnet werden soll (**Compute quiescence**).
- auch die Standardabweichungen werden sollen (**Compute error**, siehe Kap. 2).

Darüber hinaus kann eingestellt werden, daß

- die Eingabe der geographischen Länge und Breite über das Keyboard oder graphisch interaktiv mit der Maus erfolgen soll (**Keyboard** bzw. **Mouse**). Standardmäßig ist **Mouse** eingestellt.
- nur ein Punkt im Raum berechnet werden soll (**Point mode**). Diese Funktion ist standardmäßig deaktiviert.
- ob sich das Raster auch in der Tiefe erstrecken soll (**Allow depth ranging**). Diese Funktion ist standardmäßig deaktiviert.
- ob die Größe der Erdbebenkuben sich von den Gitterkuben unterscheiden darf (**Allow other length as gridcube**). Diese Funktion ist standardmäßig deaktiviert.

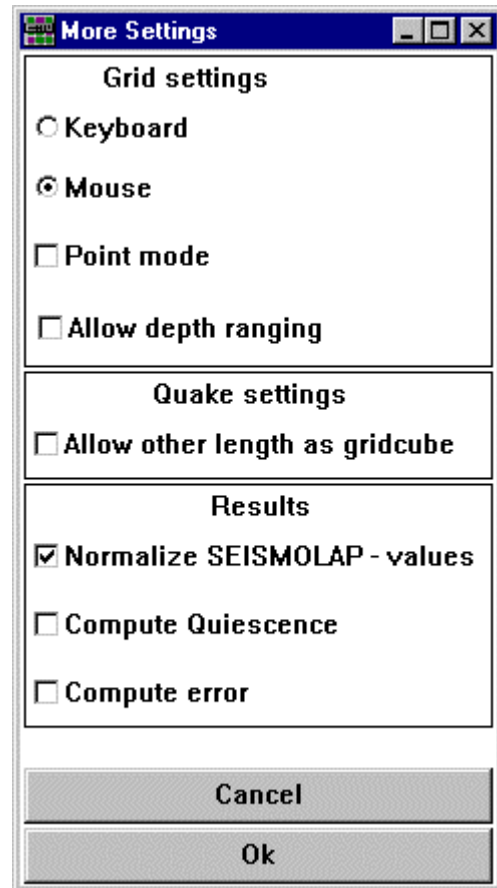


Abbildung 3.3: Dialogfenster Spatial window - More settings

Edit -> Grid Parameter -> Time window (Abb. 3.4)

In diesem Menu können eingestellt werden:

- die zeitlichen Grenzen des Erdbebenkataloges (**Date, Time**).
- das Zeitfenster T (**Time Window**).
- der zeitliche Abstand zweier aufeinanderfolgender Epochen (**Time shift**).

Time Window

Date, Time :

Day min 1 max 30

Month min 12 max 12

Year min 1988 max 1988

Hour min 0 max 0

Minute min 0 max 0

Second min 0 max 0

Time Window :

Years 0

Months 0

Days 10

Hours 0

Minutes 0

Seconds 0

Time shift :

Years 0

Months 0

Days 0

Hours 2

Minutes 0

Seconds 0

Cancel

Ok

Abbildung 3.4: Dialogfenster „Time Window“

werden angezeigt, außerdem kann bestimmt werden, ob sich die Berechnung der Seismolap – Parameter auf den ausgewählten Punkt beziehen soll (**Spatial focus on this event**).

Edit -> Localisation error (Abb. 3.7)

Hier können – soweit gegeben – die Fehler in der Lokalisierung der Erdbeben eingegeben werden.

Edit -> Grid Parameters -> Main events (Abb. 3.5 u. 3.6)

Einzustellen ist hier die Anzahl der anzuzeigenden stärksten Erdbeben des Katalogs (**Number of events**)

Mit **Show** wird ein Bild geöffnet, ähnlich wie es in Abb. 3.6 zu sehen ist, jedoch noch ohne das Fenster **Info**.

Dieses öffnet sich nach Auswahl eines Erdbebens mit der Maus (**Get main event information**). Lage, Stärke und Zeitpunkt des ausgewählten Erdbebens

Main Events

Number of events: 4

Show

Cancel

Ok

Abbildung 3.5: Dialogfenster „Main events“

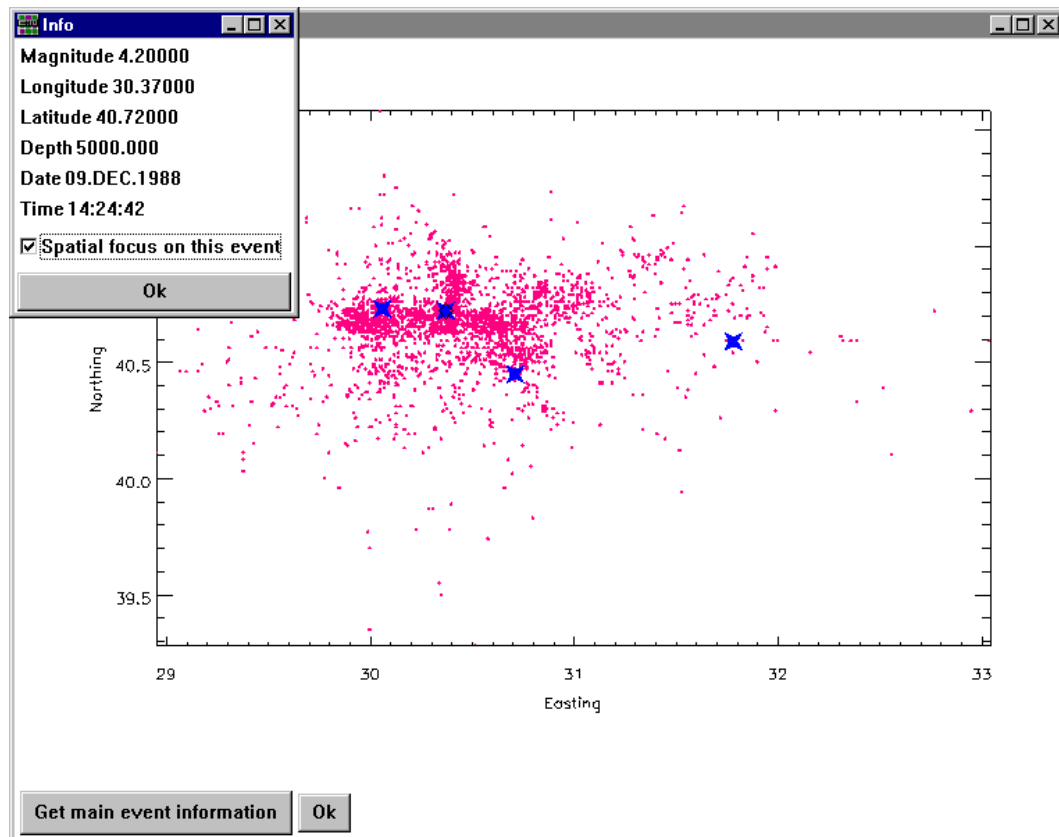


Abbildung 3.6: Darstellung von Mainshocks sowie von Informationen über das ausgewählte Beben

Bei diesem Menu kann das Erscheinungsbild der Ergebnisplots gestaltet werden hinsichtlich

- Überschrift
- Zweite Überschrift
- Farbtabelle

The screenshot shows the 'Localisation error' dialog box. It contains a 'Quality factor' section with radio buttons for values 0, 1, 2, 3, and 4. The value 2 is selected. To the right, under 'Error values', the following data is displayed:

- x - y - error [m] 2000.00
- z - error [m]..... 1500.00
- time - error [s]. 0.001000000

At the bottom of the dialog box are two buttons: 'Cancel' and 'Ok'.

Abbildung 3.7: Dialogfenster "Localisation error"

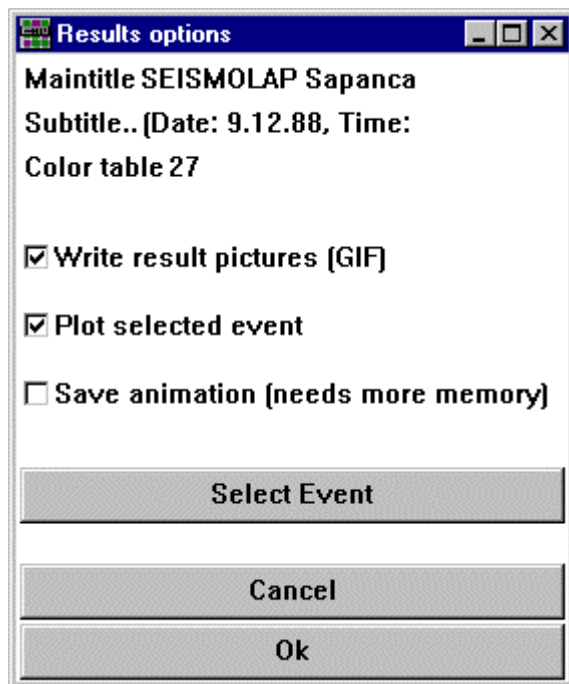


Abbildung 3.8: Dialogfenster "Results options"

- Ausgabe in Datei als GIF-Bild
- Einblenden des ausgewählten Erdbebens (als Stern) in den Plot. Das Erdbeben wird ähnlich wie bei **Edit -> Parameters -> Main events -> Show** ausgewählt (mit **Select Event**).
- Ausgabe in Datei als Animation (siehe auch Kap. 4 für Beispiele)

Edit -> Catalog und **Edit -> Catalog -> Time border** (Abb. 3.9)

Hier können Erdbeben durch das Setzen von Parametergrenzen aus dem Katalog entfernt werden, z. B. durch das Setzen einer anderen Zeit oder einer anderen Magnitude.

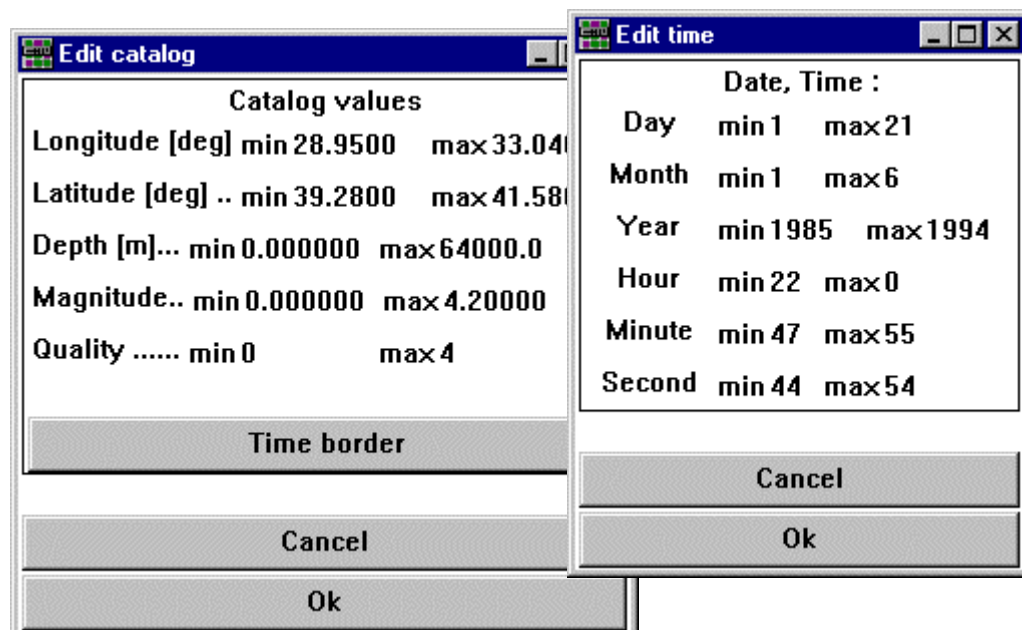


Abbildung 3.9: Dialogfenster "Edit Catalog" und "Edit time"

Lap -> Calculate

Startet die Berechnung der in **Edit -> Parameter** spezifizierten Ergebniswerte (z.B. $\langle S_2 \rangle$). Im Anschluß können die Ergebnisse auf Festplatte abgespeichert werden und mit **View -> Results** dargestellt werden.

Lap -> Calculate -> Probability

Berechnet die Wahrscheinlichkeitsverteilung von $\langle S_2 \rangle$. Anschließend können die Ergebnisse auf Festplatte abgespeichert werden. Die Visualisierung erfolgt mit **View -> Results**.

Lap -> Find value -> Maximum

Mit dieser Funktion wird eine Ergebnismatrix nach dem größten Wert durchsucht. Der Punkt wird entsprechend seiner räumlichen und zeitlichen Lage (in Länge, Breite, Tiefe bzw. Datum, Zeit) beschrieben. Der oder die gefundenen Punkte können daraufhin als Textdatei abgespeichert werden. Siehe auch Kapitel 4 für ein Beispiel dieser Funktion.

Lap -> Find value -> Minimum

Wie **Lap -> Find Value -> Maximum**, jedoch wird nach dem globalen Minimum gesucht.

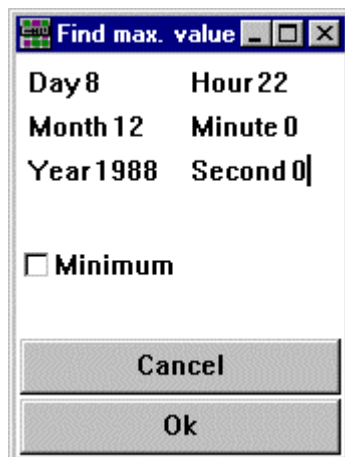


Abbildung 3.10:
Dialogfenster „Find
max. value“

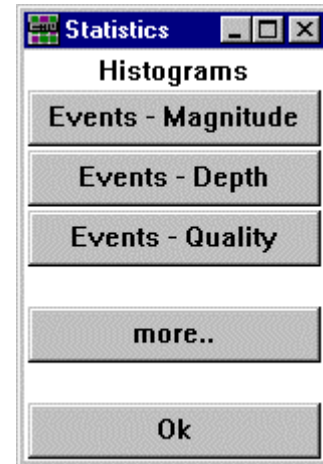
Lap -> Find value -> by Date (Abb. 3.10)

Durchsucht eine Matrix (z.B. $\langle S_1 \rangle$) nach Eingabe eines Datums und der Zeit nach dem Maximum bzw. Minimum der entsprechenden Epoche.

Diejenige Epoche wird abgesucht, die dem eingegebenen Datum am nächsten liegt. Der oder die gefundenen Punkte können daraufhin als Textdatei abgespeichert werden.

View -> Start map

Startet die Landkarte, die einen groben Überblick über die Lage der im Erdbebenkatalog aufgezeichneten Erdbeben geben soll. Mit **zoom in** kann ein neuer, vergrößerter Bildausschnitt definiert werden, **zoom out** vergrößert den Maßstab.

**View -> Statistics (Abb. 3.11 u. 3.13)**

Über dieses Menu lassen sich die Dichtefunktionen (Histogramme) der Parameter Erdbebenstärke (**Events – Magnitude**) sowie Erdbebentiefe (**Events – Depth**) darstellen.

Abbildung 3.11:
Menüfenster
„Statistics“

View -> Statistics -> more (Abb. 3.12)

Bietet die Möglichkeit, den Wertebereich der Histogramme einzustellen

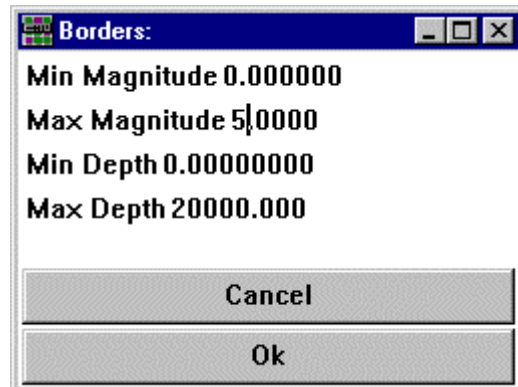


Abbildung 3.12: Dialogfenster
„Statistics“ - > „more“

View -> Results (Abb. 3.14)

Öffnet eine Ergebnisdatei, z.B.

⟨S₁⟩. Die Darstellung erfolgt entsprechend der Struktur der

Daten:

- Handelt es sich um einen Punkt, dann wird das Ergebnis als Zeitreihe dargestellt.
- Ist es eine dreidimensionale Matrix (Ausdehnung in Längen und Breitenrichtung, definierte Tiefe, Ausdehnung in Zeitrichtung) so wird eine 3D-Darstellung der Ergebnismatrix erzeugt und für jede Epoche wiederholt.
- Ist es eine vierdimensionale Matrix (Ausdehnung in Längen und Breitenrichtung, Ausdehnung in Tiefenrichtung, Ausdehnung in

Zeitrichtung), wird nach einer gewünschten Tiefe gefragt und dann entsprechend visualisiert.

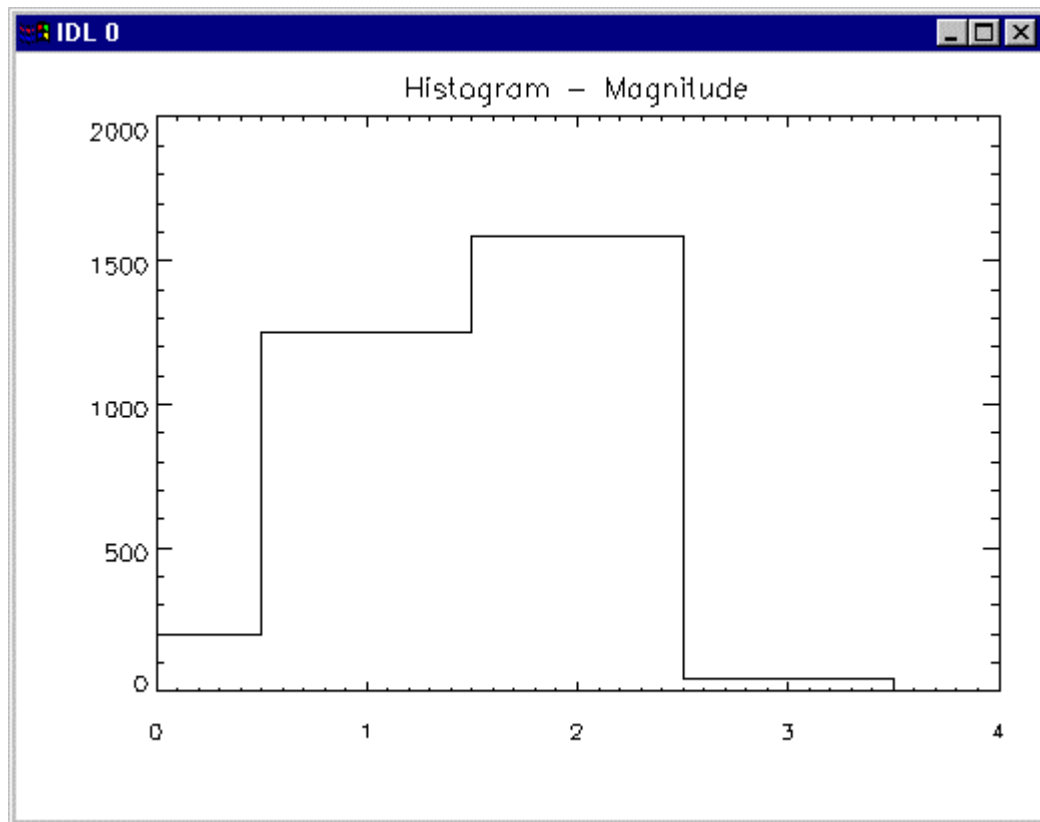


Abbildung 3.12: Histogramm der Tiefenverteilung der Erdbeben

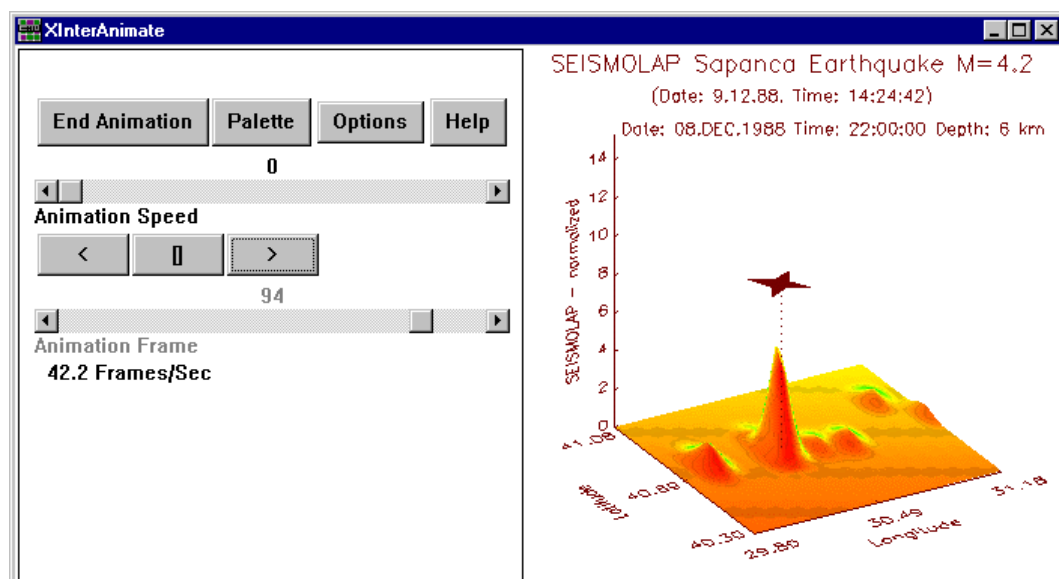


Abbildung 3.13: Ergebnisdarstellung für ein Gitter mit XInterAnimate

4. Untersuchung des Erdbebenkatalogs

Überblick über den Erdbebenkatalog

Der in dieser Arbeit untersuchte Erdbebenkatalog beinhaltet 3085 Erdbeben, die in der Zeit von Januar 1985 bis Juni 1994 im Bereich der Nordwestanatolischen Störung in der Türkei aufgezeichnet wurden.

Es handelt sich zumeist um Mikroerdbeben der Magnitude < 3 . Einen schnellen Überblick geben drei Tabellen über Magnitude, Qualität der Lokalisierung sowie Tiefe der Beben:

Magnitude	n	%	Qualität	n	%	Tiefe [km]	n	%
< 1	206	6.7	1	1400	45.4	0 - 5	956	31.0
$1 < M < 2$	1592	51.6	2	823	26.7	5 - 10	1653	53.6
$2 < M < 3$	1253	40.6	3	351	11.4	10 - 15	288	9.3
$3 < M < 4$	33	1.1	4	289	9.4	15 - 20	123	4.0
> 4	1	.3 ‰	0	222	7.2	> 20	65	2.1

Tabelle 4.1: Häufigkeiten von drei Erdbebenparametern: Magnitude, Qualität der Lokalisation und Tiefe des Bebens

Das größte Erdbeben des Katalogs ist das Erdbeben von Sapanca mit der Magnitude 4.2 auf der Richter-Skala, das am 09. Dezember 1988 um 14:24 Uhr UT aufgezeichnet wurde. Weitere Daten dieses Erdbebens sind:

Parameter	Sapanca - Erdbeben	Zweitgrößtes Beben
Magnitude (Richter-Skala)	4.2	3.9
geographische Länge HZ	30.37°	30.06°
geographische Breite HZ	40.72°	40.73°
Tiefe des Hypozentrums	5000 m	6000 m
Datum	9.12.1988	6.09.1988
Uhrzeit	14:24:42 Uhr	15:04:09 Uhr

Tabelle 4.2: Daten zum Sapanca - Beben vom 9.12.88

Das Erdbeben von Sapanca wird im folgenden näher untersucht.

Berechnung von $\langle S_1 \rangle$ für einen Punkt der Erdkruste, Darstellung in einer Zeitreihe

Die nächste Abbildung resultiert aus den Parametern:

- Berechnungspunkt ist das Hypozentrum des Sapanca – Erdbebens
- Die Zeitreihe läuft vom 14. September 1988 bis 4. April 1989
- Die zeitliche Überlappung ist 13 Tage
- Der zeitliche Verschiebungsbetrag beträgt drei Stunden
- Die Größe der Kuben ist 10 km

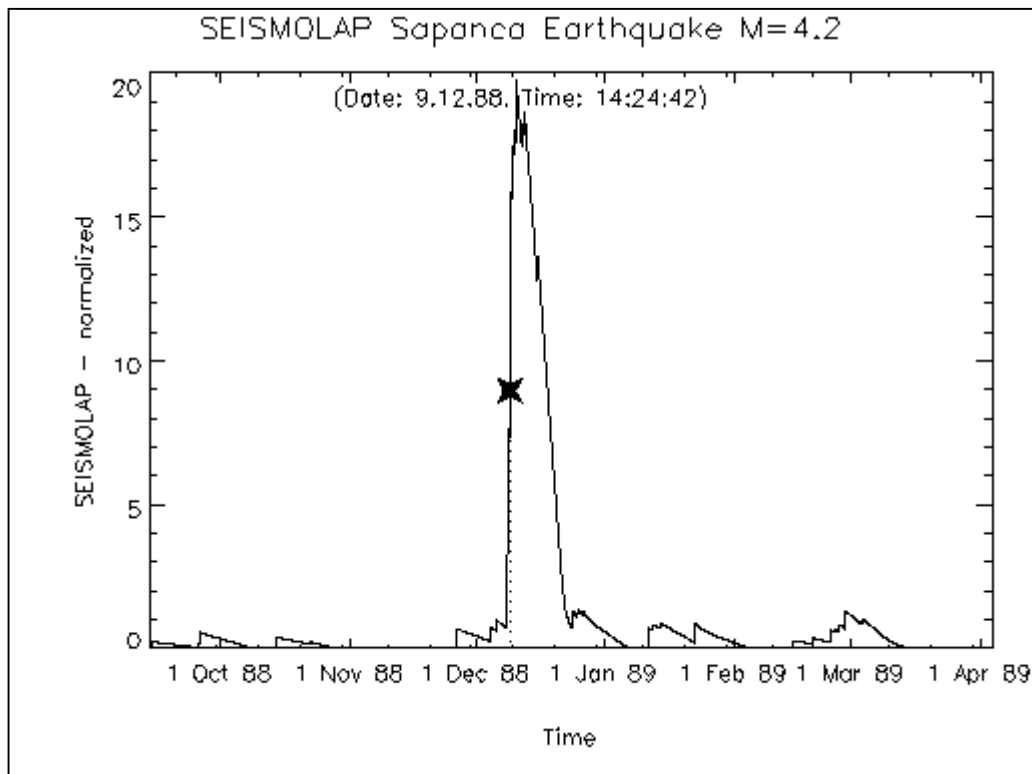


Abbildung 4.1: Zeitreihe von $\langle S_1 \rangle$, Dimension $\text{km}^3 \times \text{Sekunden}$

Zu erkennen ist hier, daß $\langle S_1 \rangle$ zum Zeitpunkt des Sapanca Erdbebens einen relativ hohen Wert annimmt (ca. 9).

Typisch für eine SEISMOLAP – Zeitreihe ist der sägezahnartige Verlauf der Ausschläge. Dieser Effekt kommt dadurch zustande, daß bei der Berechnung einer Epoche nur Erdbeben in der Vergangenheit den

Parameter beeinflussen, Erdbeben in der Zukunft bleiben unberücksichtigt. Hat das Zeitfenster dann ein Erdbeben erreicht, schnellst dessen Flächen - und Zeitbeitrag von null auf seinen maximalen Wert hoch. Mit der zeitlichen Entfernung geht der Einfluß dann wieder linear zurück.

Abbildung 4.1 zeigt auch, daß die höchsten Werte erst im Anschluß an das Hauptbeben erreicht werden. Dies entspricht nicht den Angaben von Zschau et al. 1996a.

Um eine höhere zeitliche Auflösung zu erhalten, ist in Abb. 4.2 der Verlauf von $\langle S_1 \rangle$ für denselben Ort, dafür jedoch nur für die Zeit vom 1. Dezember 1988 bis 12. Dezember 1988 dargestellt.

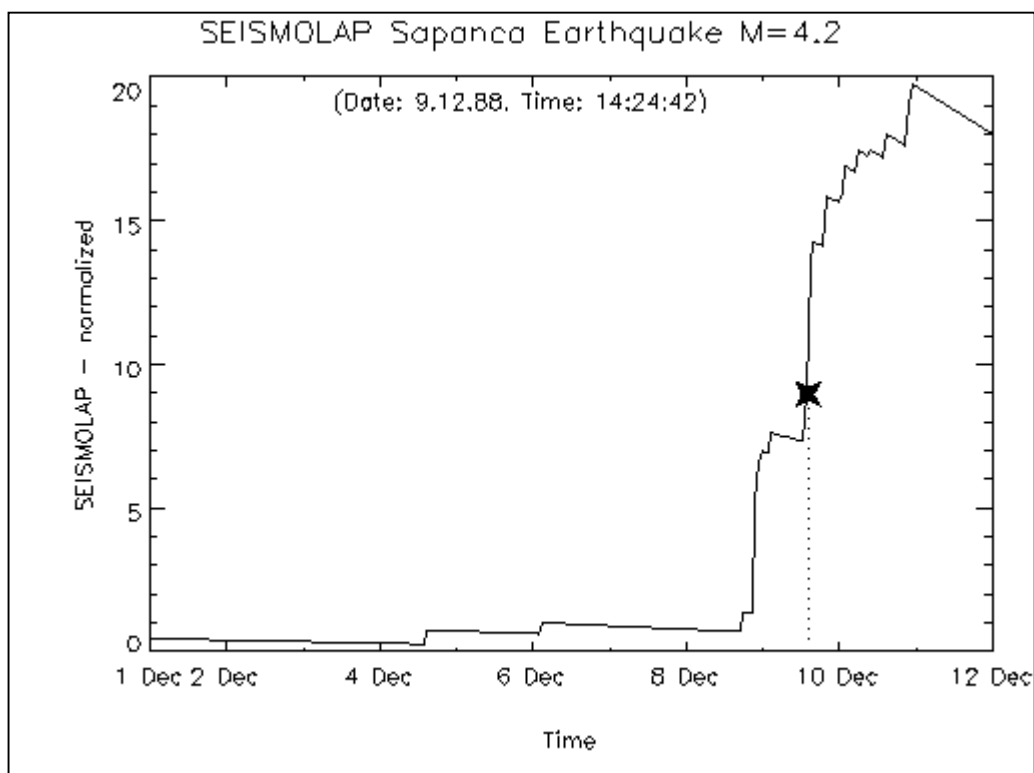


Abbildung 4.2: Verlauf von $\langle S_1 \rangle$ für das Sapanca – Erdbeben, hohe zeitliche Auflösung

Nun ist erkennbar, daß $\langle S_1 \rangle$ schon in der Nacht vor dem Hauptbeben hohe Werte annimmt (bis 7), was man als einen deutlichen Hinweis auf das

spätere Hauptbeben werten kann, da solch ein hoher Wert seit Januar 1985 nicht aufgetreten war (Abb. 4.3).

Abbildung 4.3 zeigt außerdem die dem Hauptbeben folgenden Nachbeben als dicht aufeinanderfolgende, erhöhte Werte von $\langle S_1 \rangle$.

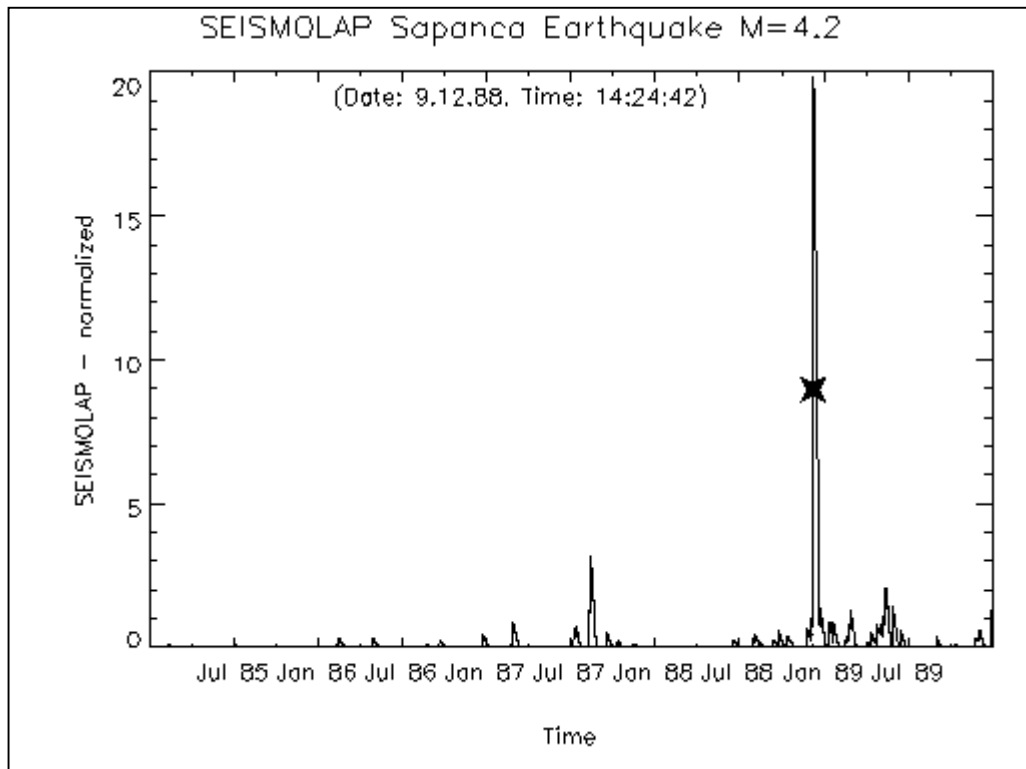


Abbildung 4.3: $\langle S_1 \rangle$ - Zeitreihe vom 1.1.85 bis 1.1.90 für den Ort des Sapanca - Erdbebens

Im Hinblick auf eine Erdbebenvorhersage ist interessant, daß der Verlauf von $\langle S_1 \rangle$ schon am Vorabend des Hauptbebens stark ansteigt (Abb. 4.2). Dieses Resultat ist jedoch unter der speziellen Voraussetzung erzielt worden, daß der Ort des Hauptbebens bekannt war und als Ort für die Berechnung von $\langle S_1 \rangle$ genommen wurde. Die Ergebnisse zeigen daher ein Maximum von $\langle S_1 \rangle$, das an einem anderen Ort möglicherweise nicht in dieser Deutlichkeit aufgetreten wäre.

Zum Vergleich ist in Abbildung 4.4 die Berechnung wiederholt worden, jedoch für den etwa 20 km entfernten Ort des zweitgrößten Erdbebens des Kataloges. Ansonsten sind die Einstellungen jedoch die gleichen wie bei Abb. 4.3.

Hier ist eine Anomalie zum Zeitpunkt des Sapanca - Bebens (in der Abbildung markiert mit einem Stern) nicht erkennbar (die Skalierung der

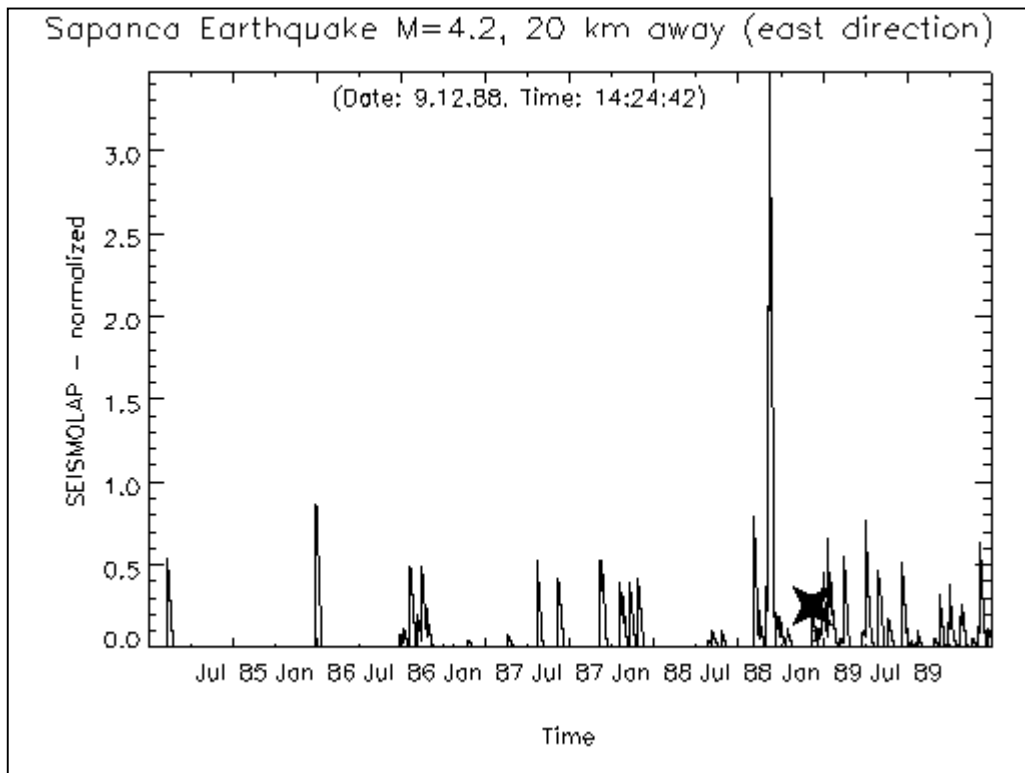


Abbildung 4.4: Berechnung von $\langle S_1 \rangle$ für den etwa 20 km entfernten Ort des zweitgrößten Bebens im Katalog

Ordinate in Abb. 4.4 ist übrigens kleiner als bei Abb. 4.3). Es scheint also notwendig zu sein, den SEISMOLAP – Wert $\langle S_1 \rangle$ für ein dichtes dreidimensionales Netz von Punkten der Erdkruste und für möglichst viele, eng beieinanderliegenden Epochen zu rechnen, um überhaupt eine erdbebengefährdete Stelle lokalisieren zu können.

Folgendes Gitter wurde erzeugt und der maximale Wert $\langle S_1 \rangle$ extrahiert (Tab. 4.3):

```

Results for maximum search:
=====
File:
/usr/people/liebetan/eigene_dateien/seismo/daten/slap.s
av
min./ max. longitude [deg]: 29.799999 / 31.179999
min./ max. latitude [deg]: 40.299999 / 41.079999
min./ max. depth [m]:      0.0000000 / 9000.0000
Grid-spacing [deg]:       0.0300000
Depth-spacing [m]:        3000.00
min. epoche :              01.Jan.1988 00:00:00
max. epoche :              09.Dec.1988 00:00:00
Time window:              013/00:00:00
Time shift:                12:00:00

Maximum at gridpoint:
longitude [deg]: 30.339999
latitude [deg]: 40.719999
depth [m]: 6000.0000
epoche : 09.Dec.1988 00:00:00
SEISMOLAP value : 7.3750650

```

Tabelle 4.3: Ergebnis der Maximum - Suche

Die Maximum – Suche hat den ungefähren Ort des späteren Sapanca – Bebens gefunden. In diesem Fall wäre also eine Vorhersage möglich gewesen. Es müssten mehr Beben untersucht werden, um festzustellen, wie zuverlässig man derartige Treffer erzielen kann.

Räumliche und zeitliche Darstellung der SEISMOLAP - Anomalie vor dem Sapanca Erdbeben

Um das Verhalten von $\langle S_1 \rangle$ vor dem SAPANCA – Beben auch dreidimensional darzustellen, sind im folgenden die Berechnungsergebnisse für ein zweidimensionales Gitter in einer 3D-Darstellung gezeigt.

Abbildung 4.5 lässt die zeitliche und räumliche Entwicklung der Anomalie vor dem Sapanca – Erdbeben gut erkennen: während am 3. Dezember, 9.00 Uhr und 8. Dezember 1988, 19.00 Uhr sich noch kein auffälliger Wert am Ort des späteren Hauptbebens (markiert durch einen Stern) zeigt,

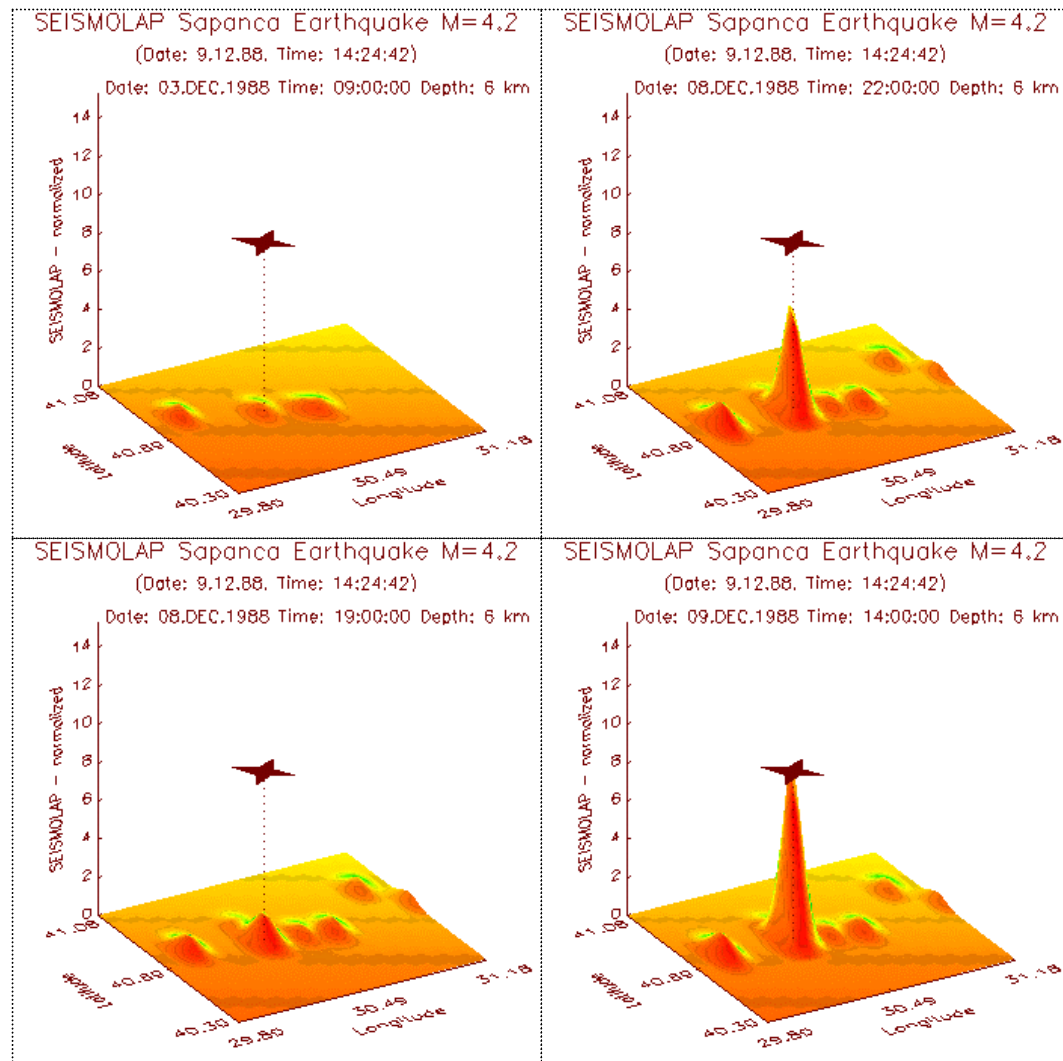


Abbildung 4.5: Räumliche und zeitliche Darstellung der SEISMOLAP - Anomalie vor dem Sapanca Erdbeben

entsteht schon am gleichen Tag um 22.00 Uhr ein relativ großer „Peak“ (Wert ca. 7), der sich am folgenden Tag um 14.00 Uhr, also 24 Minuten vor dem Hauptbeben noch auf etwa 11 erhöht.

Die Parameter zur Berechnung dieser Abbildung waren folgendermaßen eingestellt (Tab. 4.4):

SEISMOLAP Parameter	Wert
Min. geogr. Länge [°]	29.8
Max. geogr. Länge [°]	31.2
Min. geogr. Breite [°]	40.3
Max. geogr. Breite [°]	41.1
Tiefe [m]	6000
Gitterweite [°]	0.03
Raumfenster [m]	10000
Zeitfenster	13 Tage
Epochenabstand	1 Stunde

Tabelle 4.4: Einstellungen der SEISMOLAP – Parameter zur Berechnung von Abbildung 4.5

Darstellung der mittleren Fehler von $\langle S_1 \rangle$

Zusätzlich lassen sich noch die Fehler von $\langle S_1 \rangle$, die hauptsächlich aus den Fehlern in der Lokalisation der Erdbeben herrühren (vgl. auch Kap. 3: Fehler in den Meßwerten), räumlich und zeitlich darstellen, siehe Abbildungen 4.6 und 4.7. Die angenommenen Fehler in der Lokalisation sind für beide Abbildungen in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Abbildung 4.6			Abbildung 4.7		
„quality factor“	Lage [m]	Tiefe [m]	Zeit [s]	Lage [m]	Tiefe [m]	Zeit [s]
1	1000	1000	0.001	2000	1500	0.001
2	2000	1500	0.001	5000	2000	0.001
3	5000	2000	0.001	10000	5000	0.001
4	10000	3000	0.001	15000	7000	0.001
0	25000	5000	0.001	25000	10000	0.001

Tabelle 4.5: Orts- und Zeitfehler zur Berechnung von Abb. 4.6 und 4.7

Die maximalen Fehler in den Abbildungen 4.6 und 4.7 betragen ca. 0.6 bzw. ca. 1.3, bei dem späteren Hypozentrum des Sapanca – Bebens ca. 0.6 bzw. ca. 1.0.

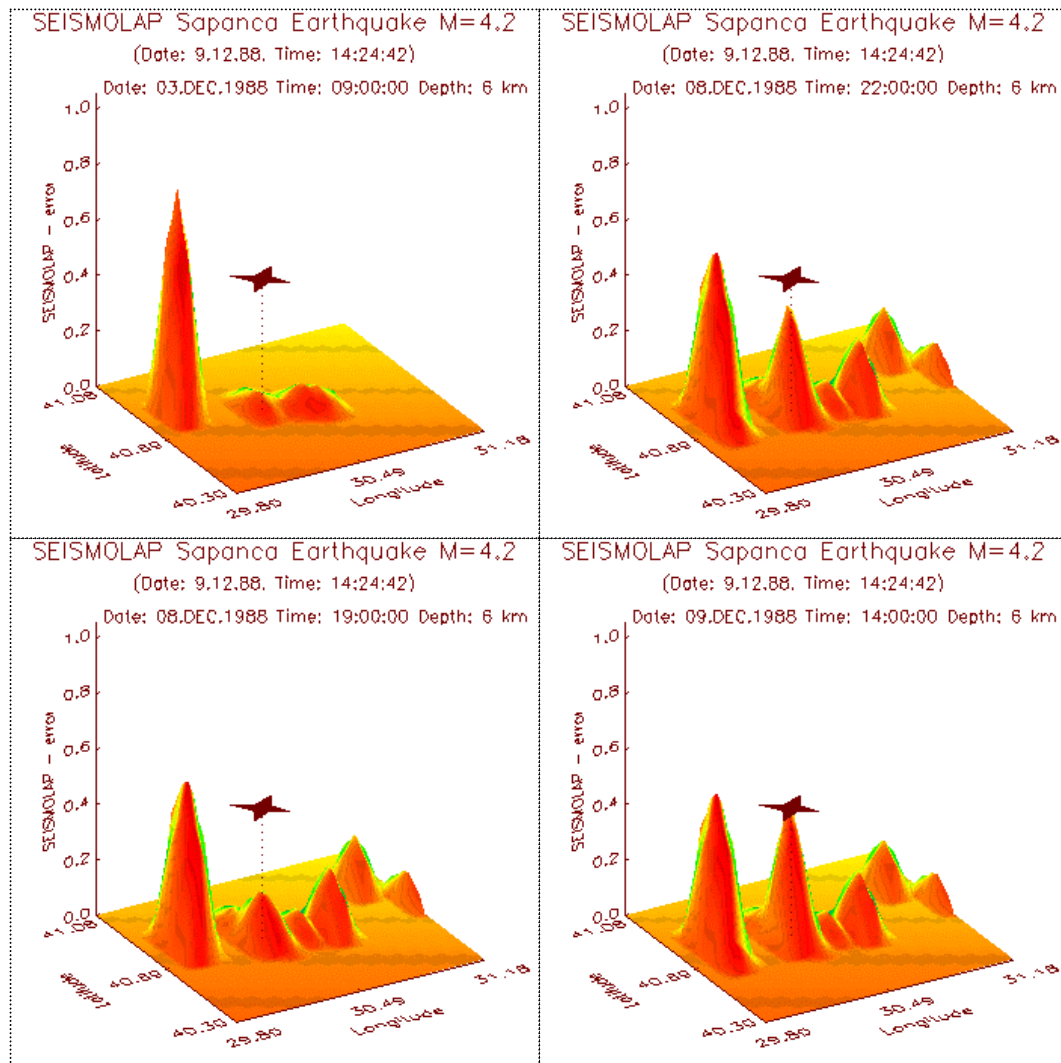


Abbildung 4.6: Fehler von $\langle S_1 \rangle$, berechnet mit min. Lokalisierungsfehlern, vgl. Tab. 4.5

Die Fehler sind davon abhängig, daß das Verhältnis Raumfenster zu Lokalisierungsfehler vergrößert bzw. verkleinert wird, vgl. auch Kapitel 3: Fehlerrechnung.

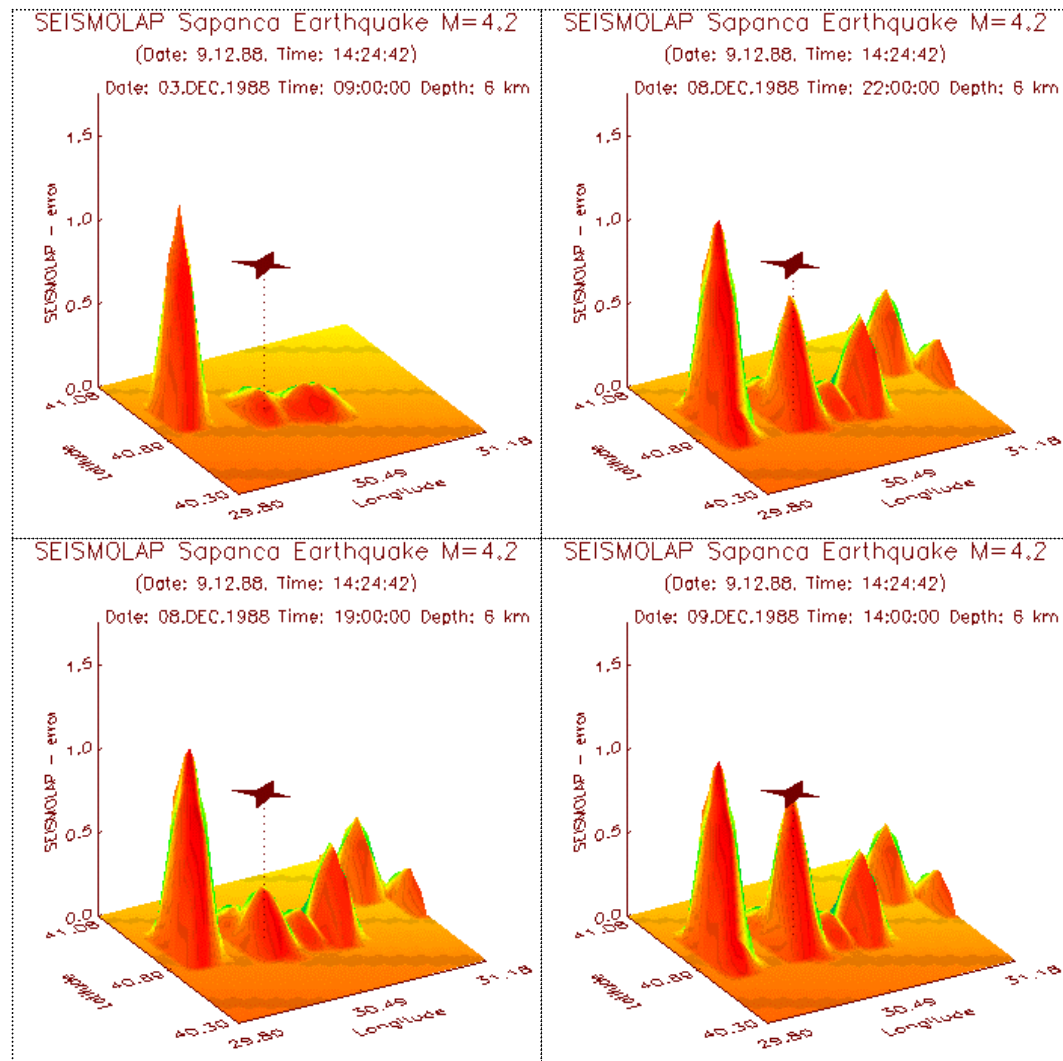


Abbildung 4.7: Fehler von $\langle S_1 \rangle$, berechnet mit max. Lokalisierungsfehlern, vgl. Tab. 4.5

Überprüfen von $\langle S_1 \rangle$ auf Signifikanz

Um die Signifikanz von $\langle S_1 \rangle$ zu testen, wird analog Kapitel 2 der relative Fehler $\sigma_{\langle S_1 \rangle} / S_1$ gebildet und auf der Grundlage der Student – t - Verteilung die Wahrscheinlichkeit berechnet, daß eine Zufallsvariable t kleiner oder gleich dem relativen Fehler ist. Die erhaltenden Wahrscheinlichkeiten wurden wegen der Visualisierung logarithmiert (Abb. 4.8 und 4.9).

Zum Verständnis: Ein Wert bei null bedeutet keine Signifikanz, je niedriger der Wert ist, desto aussagekräftiger ist $\langle S_1 \rangle$.

Es zeigt sich, daß

- die Signifikanz der SEISMOLAP – Werte bei kleineren Lokalisierungsfehlern größer wird (vgl. Abb. 4.8 und 4.9).
- die hier untersuchten Werte überwiegend signifikant sind.

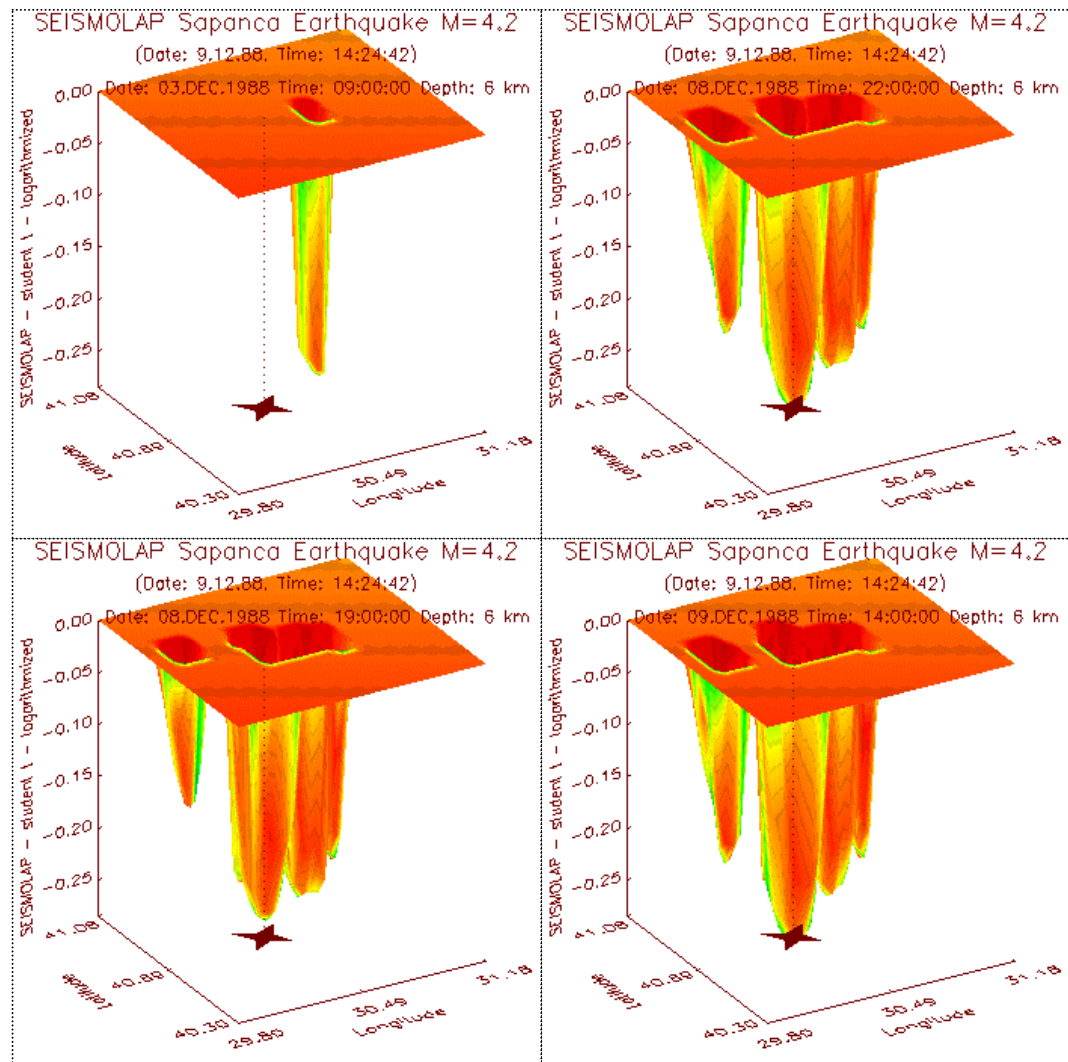


Abbildung 4.8: Signifikanz von $\langle S_1 \rangle$ aus Abbildung 4.4, gerechnet mit min. Lokalisierungsfehlern, vgl. Tab. 4.5. Ein Wert von null bedeutet keine Signifikanz.

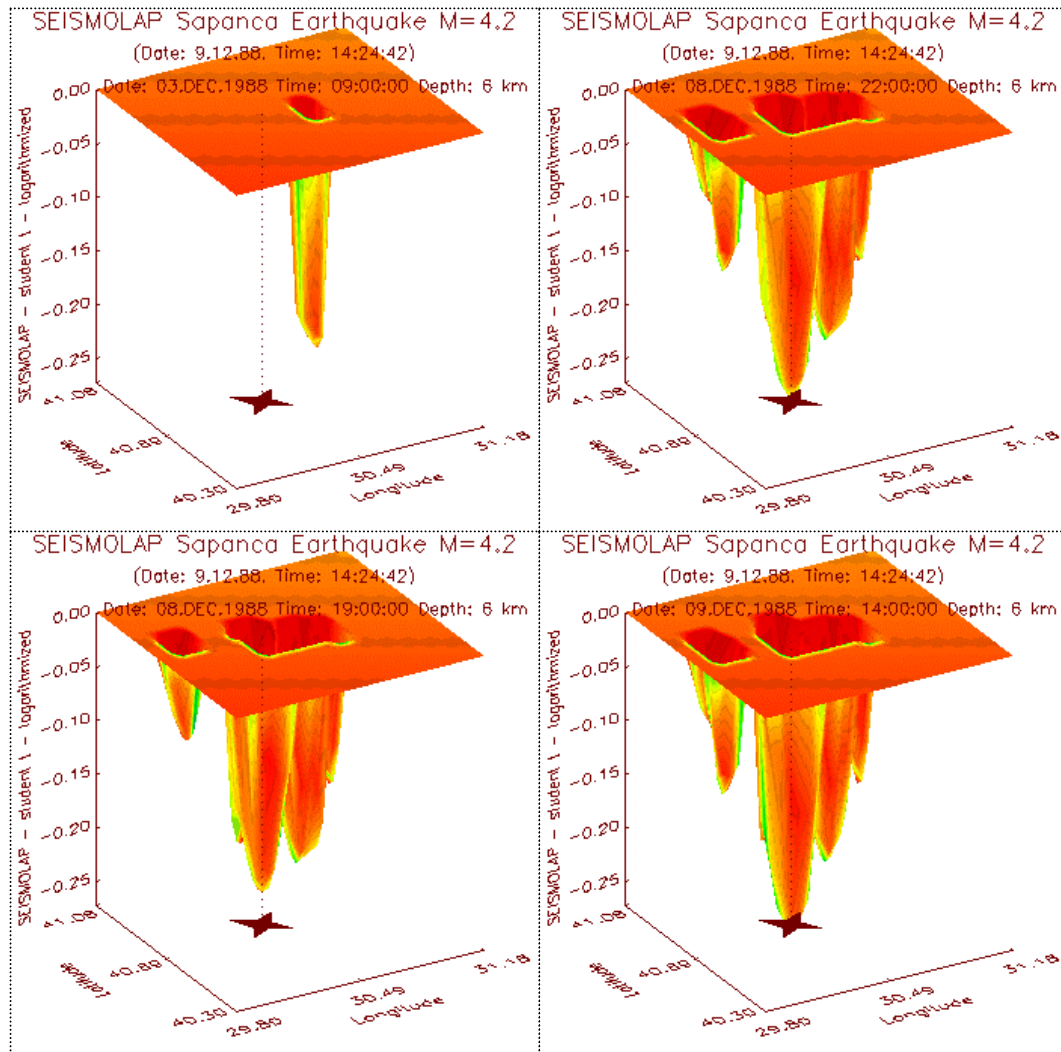


Abbildung 4.9: Signifikanz von $\langle S_1 \rangle$ aus Abbildung 4.5, gerechnet mit max. Lokalisationsfehlern, vgl. Tab. 4.5. Ein Wert von null bedeutet keine statistische Signifikanz.

Berechnung von $\langle S_2 \rangle$ für das Hypozentrum des Sapanca-Bebens, Darstellung in einer Zeitreihe (Abb. 3.10)

Die nächste Abbildung resultiert aus den Parametern:

- Berechnungspunkt ist das Hypozentrum des Sapanca – Erdbebens
- Die Zeitreihe läuft vom 1. Januar 1985 bis 1. April 1989
- Die zeitliche Überlappung ist neun Monate
- Der zeitliche Verschiebungsbetrag beträgt eine Stunde
- Die Größe der Kuben ist 10 km

Auffällig sind die hohen negativen $\langle S_2 \rangle$ - Werte Juli 1985, Mitte 1986 und Juni 1988, die auf eine geringe Erdbebenaktivität in diesen Zeiten hindeuten.

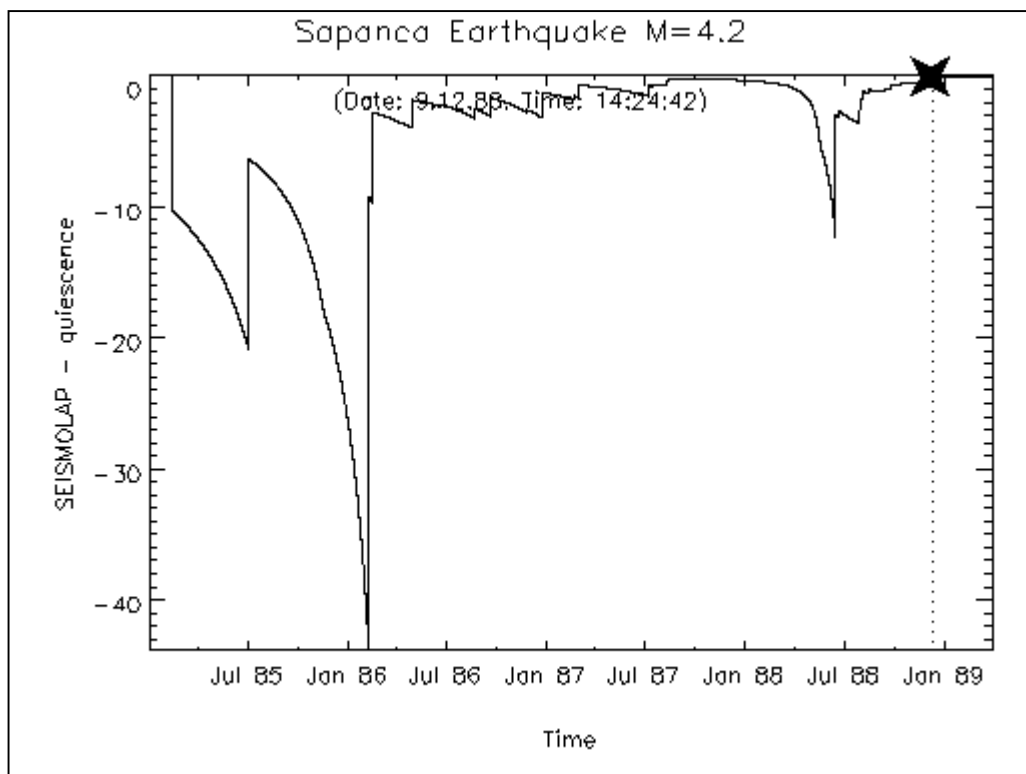


Abbildung 10: $\langle S_2 \rangle$ für das Hypozentrum des Sapanca - Bebens

Datum	$\langle S_2 \rangle$	Zeitdifferenz [Tage]
09.02.86	- 43.8	598
30.09.87	- 0.2	
15.06.88	- 11.7	
01.12.88	- 0.4	169

Tabelle 4.6: Zeitspanne zwischen den aufeinanderfolgenden Wechseln der Extrema von $\langle S_2 \rangle$ in Abb. 4.10

Vor dem Sapanca – Beben ist die Zeitspanne vom lokalen Minimum von $\langle S_2 \rangle$ im Juni 1988 zum lokalen Maximum im Dezember des gleichen Jahres deutlich geringer als es davor entsprechend der Fall war (Tab. 4.6). Die Werte aus Tabelle 4.6 wurden mit der „Search minimum“ - Funktion sowie der Funktion: „Find value by date“ aus dem Menu „Lap“ ermittelt.

Als Ergänzung zu Abb. 10 ist in Abb. 11 die zugehörige $\langle S_1 \rangle$ – Zeitreihe abgebildet.

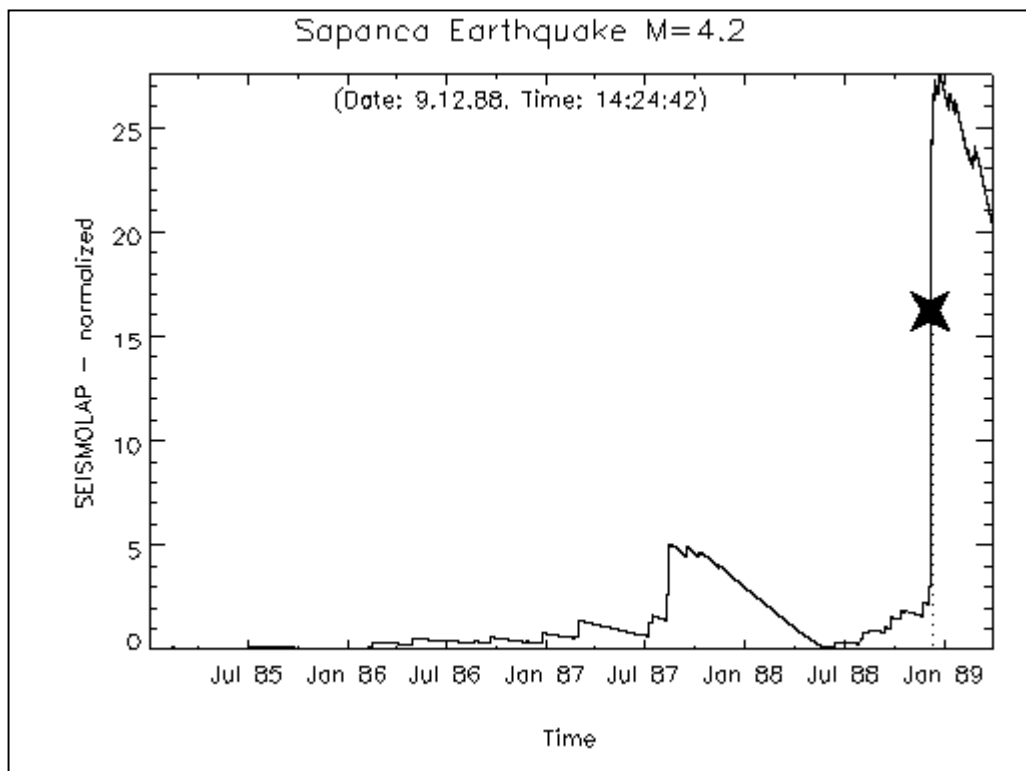


Abbildung 4.11: $\langle S_1 \rangle$ Zeitreihe zu Abb. 4.10

Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung (Pearson Typ 3) von $\langle S_2 \rangle$ für das Hypozentrum des Sapanca-Bebens, Darstellung in einer Zeitreihe (Abb. 4.11)

Zu Abbildung 4.10 läßt sich noch die Wahrscheinlichkeitsverteilung von $\langle S_2 \rangle$ berechnen (siehe Kapitel 2). Ein Wert von -5 beispielsweise bedeutet eine Wahrscheinlichkeit von $-1 / -5 = 0.2$, den entsprechenden Wert $\langle S_2 \rangle$ zu erhalten (Wiemer 1996).

Ein Wert von Null bedeutet, daß das Verfahren für diesen Zeitpunkt keine Wahrscheinlichkeit berechnen konnte.

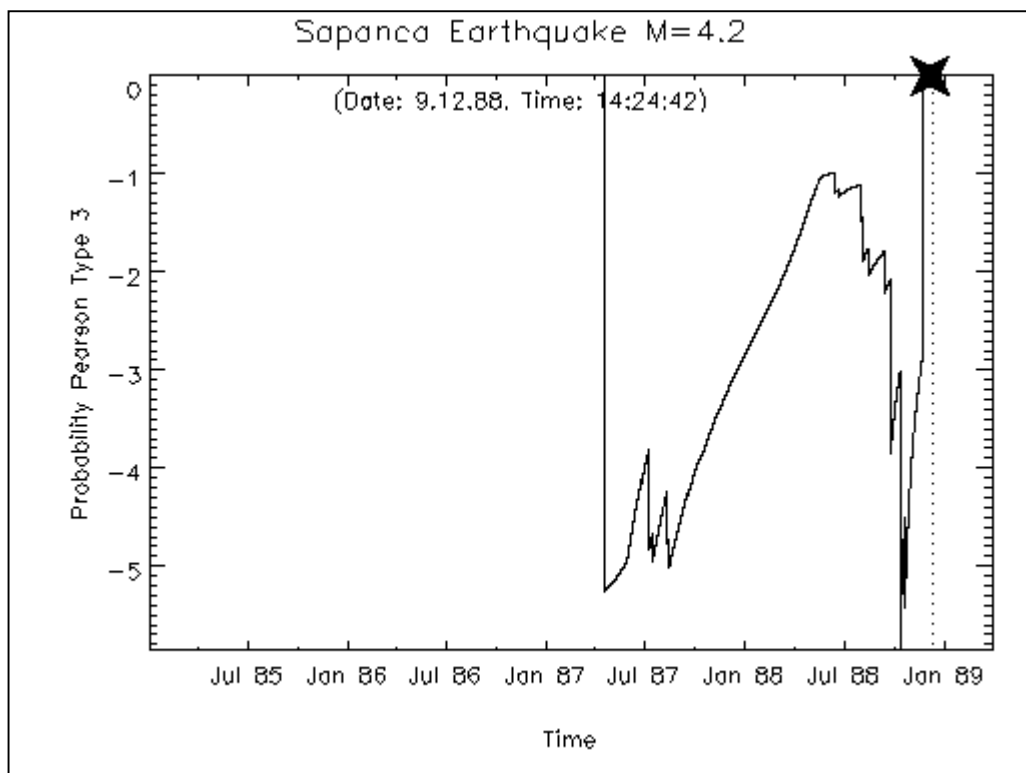


Abbildung 4.12: Wahrscheinlichkeitsverteilung (Pearson Typ 3) zu Abb. 4.10

6. Zusammenfassung und Ausblick

Im wesentlichen konnten alle Punkte der Aufgabenstellung erfolgreich behandelt werden. Diese waren im einzelnen:

- Erstellung eines Programmes zur Berechnung des SEISMOLAP – Parameters
- Darstellung der zeitlichen Änderungen dieses Parameters mit IDL
- Variables Programmieren der Eingangsparameter: Zeit – und Ortsfenster, Magnitude, Erdbebenmomente
- Ableitung eines Formelapparates zur Abschätzung der statistischen Zuverlässigkeit von SEISMOLAP
- Definition von Parametern, die statistische Aussagen über die Zuverlässigkeit der SEISMOLAP – Methode für eine erfolgreiche Erdbebenvorhersage zulassen

Mit den Tests zum Sapanca-Erdbeben im Kapitel 4 konnten die Ergebnisse von Zschau (1996a) bestätigt werden, ergänzt um eine Betrachtung der Fehlerfortpflanzung in SEISMOLAP sowie der statistischen Signifikanz des Parameters.

Im Hinblick auf den letzten Punkt der Aufgabenstellung wurde eine Methode aufgegriffen, die Stefan Wiemer, University of Alaska Fairbanks, USA in der Dokumentation zu seinem Programm ZMAP 3.0 beschrieben hat. Er berechnete mit Hilfe der Pearson Typ 3 Verteilung die Wahrscheinlichkeit, die seismische Ruhe $\langle S_2 \rangle$ eines Punktes zu erhalten (siehe auch Kapitel 2).

Die Ergebnisse, die ich mit dieser Methode für das Sapanca – Erdbeben erzielt habe, fielen nicht so klar aus wie die von Wiemer (1996). Allerdings benützt Wiemer in seinen Beispielen durchweg größere Orts- und Zeitfenster für die Berechnungen. So z.B. bei dem von ihm untersuchten Erdbebenkatalog von Zentralkalifornien, der Erdbeben in der Zeit von 1970 bis 1997 aufzeichnet:

- Ortsfenster: 800 km
- Zeitfenster: 500 Tage

Zum Vergleich: Bei dem in dieser Arbeit benutzten Erdbebenkatalog der nordanatolischen Störung habe ich meist gewählt:

- Ortsfenster: 10 km
- Zeitfenster: 13 Tage

Um das Programm in Hinblick auf eine statistisch fundierte Vorhersage zu erweitern, sollten vor allem weitere Beispiele untersucht werden. Dabei sollten auch die Berechnungen von Wiemer (s.o.) nachgerechnet werden.

Literaturverzeichnis

- Breymann, U. (1994): C++ - Eine Einführung. 2., bearbeitete Auflage. – *Carl Hanser Verlag, München.*
- Lausch, E. (1996): Die Katastrophe kündigt sich an. - *GEO*, 110-126.
- Numerical Recipes in FORTRAN. Second Edition. – *Cambridge University Press, Cambridge, USA.*
- Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W., Flannery, B (1995): Numerical
Sachs, L. (1992): Angewandte Statistik. 7. Auflage. – *Springer-Verlag, Heidelberg.*
- Wiemer, S. (1996): ZMAP 3.0 Users Guide: 90-96. – erhältlich im Internet:
www.giseis.alaska.edu/Input/stefan/stefan.html.
- Zschau, J. (1996a): SEISMOLAP – Ein Schritt in Richtung
Erdbebenvorhersage. – *Geowissenschaften*, **14**: 1-7.
- Zschau, J. (1996b): SEISMOLAP – A key to earthquake prediction?. –
Nature [submitted].

Abbildungsverzeichnis

Abb.2.1: Räumliche und zeitliche Verschneidung.....	7
Abb. 3.1: Dialogbox zur Einstellung der SEISMOLAP – Parameter	15
Abb. 3.2: Einstellung des räumlichen Fensters.....	16
Abb. 3.3: Dialogfenster "Spatial window - More settings"	17
Abb. 3.4: Dialogfenster "Time window"	18
Abb. 3.5: Dialogfenster "Main events"	18
Abb. 3.6: Darstellung von Mainshocks sowie von Informationen über das ausgewählte Beben.....	19
Abb. 3.7: Dialogfenster "Localisation error"	19
Abb. 3.8: Dialogfenster "Results options"	20
Abb. 3.9: Dialogfenster "Edit Catalog" und "Edit time"	20
Abb. 3.10: Dialogfenster "Find max. value".	21
Abb. 3.11: Menüfenster "Statistics"	22
Abb. 3.12: Dialogfenster "Statistics" - > "more"	22
Abb. 3.13: Histogramm der Tiefenverteilung der Erdbeben.....	23
Abb. 3.14: Ergebnisdarstellung für ein Gitter mit XinterAnimate.....	23
Abb. 4.1: Zeitreihe von $\langle S_1 \rangle$, Dimension $\text{km}^3 \times \text{Sekunden}$	25
Abb. 4.2: Verlauf von $\langle S_1 \rangle$ für das Sapanca – Erdbeben, hohe zeitliche Auflösung	26
Abb. 4.3: $\langle S_1 \rangle$ - Zeitreihe vom 1.1.85 bis 1.1.90 für den Ort des Sapanca - Erdbebens.....	27
Abb. 4.4: Berechnung von $\langle S_1 \rangle$ für den etwa 20 km entfernten Ort des zweitgrößten Bebens im Katalog.....	28
Abb. 4.5: Räumliche und zeitliche Darstellung der SEISMOLAP - Anomalie vor dem Sapanca Erdbeben.....	30
Abb. 4.6: Fehler von $\langle S_1 \rangle$, berechnet mit min. Lokalisierungsfehlern, vgl. Tab. 4.5	32
Abb. 4.7: Fehler von $\langle S_1 \rangle$, berechnet mit max. Lokalisierungsfehlern, vgl. Tab. 4.5	33
Abb. 4.8: Signifikanz von $\langle S_1 \rangle$ aus Abbildung 4.4, gerechnet mit min. Lokalisationsfehlern, vgl. Tab. 4.5.....	34

Abb. 4.9: Signifikanz von $\langle S_1 \rangle$ aus Abbildung 4.5, gerechnet mit max. Lokalisationsfehlern, vgl. Tab. 4.5.....	35
Abbildung 4.10: $\langle S_2 \rangle$ für das Hypozentrum des Sapanca – Bebens	36
Abbildung 4.11: $\langle S_1 \rangle$ Zeitreihe zu Abb. 4.10	37
Abbildung 4.12: Wahrscheinlichkeitsverteilung (Pearson Typ 3) zu Abb. 4.10	38

Verwendete Hard- und Software

Rechner

Das Programm wurde an einem Pentium PC, 60 MHz und 64 MB RAM unter Windows NT 4.0 Workstation, Service Pack 3 entwickelt.

Eine Workstation Indy von Silicon Graphics (SGI) wurde vor allem zu Testberechnungen von dreidimensionalen Gittern mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung genutzt. Die Eckdaten dieses Rechners sind:

- RISC Prozessor MIPS R4600, 133 MHz
- 128 MB RAM
- 8 GBytes Festplattenkapazität
- Hochauflösender 21 Zoll Trinitron Monitor
- Betriebssystem IRIX 6.2 64 Bit

IDL

Das erstellte Programm wurde sowohl unter den Versionen IDL 3.6.1b für Windows als auch unter IDL 4.0.1 entwickelt und ist außerdem unter IDL 5.0 für Windows als auch unter IDL 5.0 für UNIX getestet.

JHU – John-Hopkins-University – Library for IDL

Zur Ausführung benötigt das Programm die IDL – Programmbibliothek JHU von der John-Hopkins-Universität in der Version vom Dezember 1996, die dieser Diplomarbeit beiliegt. Aus dieser Bibliothek wurden hauptsächlich Unterprogramme für Umrechnungen zwischen Zeitsystemen genutzt.

C

Als C-Compiler kam unter Windows Borland C++ 5.0 zum Einsatz. Unter IRIX 6.2 wurde der Standard C – Compiler cc benützt.

Anhang A: Programm- und Datenstruktur von SLAP

Programmstruktur ereignisgesteuerter Programme

Im folgenden wird einiges zum Aufbau und Funktionsweise eines ereignisgesteuerten Programms unter IDL erklärt. Näheres entnehme man der einschlägigen Literatur, z.B. die Handbücher zu IDL.

Die Ereignisfunktionen tauschen ihre Daten miteinander über eine anonyme Datenstruktur aus. Diese Struktur, genannt „state“, enthält alle möglichen Datentypen, z.B. Strings oder Felder von Fließkommazahlen. Änderungen an diesen Daten werden in der Regel in den von den Ereignisfunktionen aufgerufenen Unterprogrammen vorgenommen. Bei Bedarf kann „state“ geänderten Daten angepaßt werden, z.B. durch Hinzufügen eines Datenfelds.

Durch Abspeichern von „state“ auf die Festplatte können sämtliche Daten in eine Datei abgelegt und später durch IDL wiederhergestellt werden. Auf diese Weise kann man eine „Berechnungssitzung“ an dem Punkt weiterführen, an dem man sie unterbrochen hat.

Bei einem ereignisgesteuerten Programm ist die Abfolge der Programmaktionen nicht festgelegt. Die Ereignisse, die eine Aktion auslösen, z.B. ein Mausklick auf ein Button, werden vom Benutzer ausgelöst. Die Steuerung der Programmaktionen wird hier nach der Initialisierung des Hauptprogramms an den IDL – Ereignismanager übergeben. Dieser macht die vom Betriebssystem gemeldeten Ereignisse dem Hauptprogramm transparent. Die entsprechende Funktion wird vom Ereignismanager aufgerufen und zwar mit der Adresse desjenigen Objekts, das Informationen über die Datenadresse von „state“ hat. Am Anfang eines Unterprogramms wird zunächst über diese Adresse der Speicherort von „state“ ermittelt. Im Mittelteil der Ereignisfunktion werden die Daten dann bearbeitet und am Ende werden die geänderten Daten wieder für die anderen Unterprogramme freigegeben. Am Beispiel der Ereignisfunktion 'Edit.Result options' soll dies verdeutlicht werden:

```

1  'Edit.Result options': BEGIN
2      child = WIDGET_INFO( event.handler, /CHILD )
3      ; Get state as user-value of child:
4      WIDGET_CONTROL, child, GET_UVALUE=state,/NO_COPY
5      IF NOT DEFINED(state,/STRUCTURE,TAG='quake') THEN BEGIN
6          tmp=WIDGET_MESSAGE('No file open.',/ERROR)
7          GOTO,exit_result_options
8      ENDIF
9
10     IF NOT DEFINED(state,/STRUCTURE,TAG='result') THEN BEGIN
11         result = RESULTOP ( GROUP=Group,$
12             /INITIALIZE )
13         state=CREATE_STRUCT(state,'result',TEMPORARY(result))
14     ENDIF
15     result=RESULTOP ( GROUP=Group,$
16         MAINTITLE=state.result.maintitle,$
17         SUBTITLE=state.result.subtitle,$
18         QUAKE_JS=state.quake.js,$
19         QUAKE_LAT=state.quake.lat,$
20         QUAKE_LON=state.quake.lon,$
21         QUAKE_Z=state.quake.z,$
22         QUAKE_STRENGTH=state.quake.strength,$
23         FLAG_ANIMATION=state.result.flag_animation,$
24         FLAG_GIF=state.result.flag_gif,$
25         FLAG_PLOTSHOCK=state.result.flag_plotshock,$
26         SHOCK_TO_PLOT=state.result.shock_to_plot,$
27         COLOR=state.result.color )
28
29     IF NOT DEFINED(result,/STRUCTURE) THEN GOTO,exit_result_options ELSE
30     BEGIN
31         WIDGET_CONTROL, /HOURGLASS
32
33         state=REWRITE_STRUCT(TEMPORARY(state),TAG_NAME='result',NEW_VALU
34         E=TEMPORARY(result))
35     ENDELSE
36
37
38     exit_result_options:
39         WIDGET_CONTROL, child, SET_UVALUE=state,/NO_COPY
40     END

```

In den Programmzeilen 2 bis 4 wird der Speicherort von „state“ ermittelt. Danach werden weitere Unterprogramme zur Bearbeitung der Daten in „state“ aufgerufen (Funktion „RESULTOP“). In der Zeile 39 wird schließlich die geänderte Datenstruktur an das aufrufende Programm übergeben.

Werden die Daten auf diese Weise gespeichert bzw. ausgetauscht, bleiben sie vor unerwünschten Manipulationen, wie es z.B. bei COMMON-Blocks leicht geschehen kann, geschützt.

Beschreibung der Datenstruktur von SLAP.PRO

Das Hauptprogramm „slap.pro“ besitzt eine anonyme Datenstruktur „state“, in der sämtliche Daten bezüglich der Erdbeben sowie die SEISMOLAP-Parameter gespeichert sind. Müssen die Dimensionen einer Unterstruktur verändert, bzw. ein neues „tag“ (das ist eine Unterstruktur) hinzugefügt werden, so bietet sich hierfür das Unterprogramm „rewrite_struct“ an. Für zusätzliche Informationen sei auf die Beschreibung in der Datei „rewrite_struct.pro“ verwiesen. Zur Anwendung kommt diese Funktion übrigens auch im obigen Programmauszug der Datei „slap.pro“.

Im folgenden werden die Unterstrukturen von „state“ sowie deren Datentypen aufgelistet.

Der Aufbau der Datenstruktur „state“ ist:

Tags von state	Datentyp	Wert (Beispiel)
FILE	STRING	'4_6min'
LASTPATH	STRING	'D:\IDLusr\slap\data\'
QUAKE	STRUCT	Array(1)
ERROR	STRUCT	Array(1)
RESULT	STRUCT	Array(1)
PARAM	STRUCT	Array(1)

Die tags der Unterstruktur state.quake (Erdbebenkatalogdaten) sind:

Tags von state.quake	Datentyp	Wert (Beispiel)
JS	DOUBLE	Array(3085)
LON	DOUBLE	Array(3085)
LAT	DOUBLE	Array(3085)
Z	DOUBLE	Array(3085)
STRENGTH	FLOAT	Array(3085)
QUALITY	INT	Array(3085)
N	LONG	3085

Die tags der Unterstruktur state.error (Lokalisationsfehler) sind:

Tags von state.error	Datentyp	Wert (Beispiel)
XY	DOUBLE	Array(5)
Z	DOUBLE	Array(5)
T	DOUBLE	Array(5)

Die tags der Unterstruktur state.result (Plotparameter) sind:

Tags von state.result	Datentyp	Wert (Beispiel)
MAINTITLE	STRING	'SEISMOLAP Sapanca Earthquake M=4.2'
SUBTITLES	TRING	'(Date:9.12.88,Time:14:24:42)'
FLAG_GIF	LONG	1
FLAG_PLOTSHOCK	LONG	1
FLAG_ANIMATION	LONG	0
SHOCK_TO_PLOT	STRUCT	Array(1)
COLOR	INT	27

Die tags der Unterstruktur param (SEISMOLAP-Parameter) sind:

Tags von state.param	Datentyp	Wert (Beispiel)
ALTERED	INT	1
CHANGES_DONE	INT	0
AREA	STRUCT	Array(1)
GRID	STRUCT	Array(1)
QUAKE	STRUCT	Array(1)
CONFIG	STRUCT	Array(1)

Die tags der Unterstruktur state.result.shock_to_plot (Eingeblendetes Hauptbeben) sind:

Tags von state.param.shock_to_plot	Datentyp	Wert (Beispiel)
MAG	FLOAT	4.20000
LON	DOUBLE	30.370000
LAT	DOUBLE	40.720000
Z	DOUBLE	5000.0000
JS	DOUBLE	-3.4900412e+008

Die tags der Unterstruktur state.param.area (räumliche Kataloggrenzen) sind:

Tags von state.param.area	Datentyp	Wert (Beispiel)
BORDER	DOUBLE	Array(6)

Border: Array(6) - > [lon_min, lon_max, lat_min, lat_max, z_min, z_max]

Die tags der Unterstruktur state.param.grid (räumliche Gittergrenzen) sind:

Tags von state.param.grid	Datentyp	Wert (Beispiel)
BORDER	DOUBLE	Array(6)
LON	DOUBLE	Array(47)
LAT	DOUBLE	Array(27)
Z	DOUBLE	Array(1)
SPACING	FLOAT	0.0300000
Z_SPACING	DOUBLE	1000.0000
LENGTH	DOUBLE	10000.000
TIMESWIN	DOUBLE	1123200.0
SHIFT	DOUBLE	3600.0000
DATE	DOUBLE	Array(2)

Die tags der Unterstruktur state.param.quake (Kubenlänge für Erdbeben) sind:

Tags von state.param.quake	Datentyp	Wert (Beispiel)
LENGTH	DOUBLE	10000.000

Die tags der Unterstruktur state.param.config (verschiedene Schalter, um Programmfunktionen ein- oder auszuschalten) sind:

Tags von state.param.config	Datentyp	Wert (Beispiel)
SWITCH_POINT_MODE	INT	0
SWITCH_DEPTH_RANGE	INT	0
SWITCH_KEY_BOARD	INT	1
SWITCH_MOUSE	INT	0
SWITCH_QUAKE_NE_GRID	INT	0
SWITCH_NORMALIZE	INT	1
SWITCH QUIESCENCE	LONG	1
SWITCH_ERROR	LONG	1

Anhang B: Auflistung und Einteilung der IDL - Unterprogramme

Kategorie	Erläuterung
DATE	Datum- und Zeitumwandlung
GRAPHIC	Plot- und Grafikroutinen
IMAGE	Bildbearbeitung
INFO	Informationsroutinen
MAIN	Hauptprogramm
MAT	Mathematik
MISC	Verschiedenes
STAT	Statistik
STRING	Stringbearbeitung
TEXT FILES	Bearbeitung von Textdateien
DIALOG	Dialogfenster (siehe auch Kap. 3)
PROG	Erweitert bestehende Systemprogramme

Tabelle B.1: Einteilung der erstellten IDL – Routinen in Kategorien

Name	Kategorie	Name	Kategorie
defined.pro	INFO	roundf.pro	PROG
droplist.pro	PROG	sav_dis.pro	GRAPHIC
editcat.pro	DIALOG	sav_results.pro	PROG
editime.pro	DIALOG	scl.pro	MATH
fext.pro	STRING	sec2hms.pro	DATE
find_datum.pro	MISC	sec2time.pro	DATE
find_extremum.pro	MISC	shockinfo.pro	INFO
flines.pro	TEXT FILES	slap.pro	MAIN
fprefix.pro	STRING	spatialwin.pro	DIALOG
get_time.pro	DIALOG	sreplace.pro	STRING
gridarea.pro	DIALOG	strtrunc.pro	STRING
gridinit.pro	MATH	timewin.pro	DIALOG
ipolbox.pro	MATH	upcase.pro	STRING
locerr.pro	DIALOG	view_results.pro	GRAPHIC
mainshck.pro	DIALOG	wid_alive.pro	PROG
map_quake.pro	GRAPHIC	widget_m.pro	INFO
matches2d.pro	PROG	xdecision.pro	INFO
moment.pro	STAT	xnote.pro	INFO
more_spatial.pro	DIALOG	xowrite.pro	INFO
morehist.pro	DIALOG	xquake.pro	GRAPHIC
param.pro	DIALOG	xsave_it.pro	INFO
ppears3.pro	STAT	xselectz.pro	DIALOG
res_dis.pro	GRAPHIC	xstat.pro	STAT
resultop.pro	DIALOG	ymdhms2s.pro	DATE
rewrite_struct.pro	PROG		

Tabelle B.2: Auflistung der IDL – Routinen des CD-Verzeichnisses \unix\idl

Anhang C - Beispiel eines IDL – Unterprogramms: defined.pro

```

;-----
;+
; NAME:
;     DEFINED
; PURPOSE:
;     This routine was made, because N_ELEMENTS does
;     not handle structures
; CATEGORY:
;     Informational Routines
; CALLING SEQUENCE:
;     result = defined, EXPR [, TAG=TAG]
;                   [,STRUCTURE=STRUCTURE]
; INPUTS:
;     EXPR=Expression to be examined
;     TAG = Tag of the strucure 'expr'
; KEYWORD PARAMETERS:
;     TAG = Tag of the strucure 'expr'. Not 'expr' is
;     examined
;     being defined, but 'expr.tag'. This is only
;     valid, if the keyword 'structure' is set.
;     STRUCTURE = 'expr' or 'expr.tag' is examined to
;     be a valid structure
; OUTPUTS:
;     Returns 1 if expr or expr.tag is defined, 0 if
;     not.
; MODIFICATION HISTORY:
;     Matthias Liebetanz, TU-Darmstadt, Germany, 31
;     Mrz, 1997
;     No warranty that this program is free of error
;
;-
;-----
FUNCTION DEFINED, expr, TAG=tag, STRUCTURE=STRUCTURE

    expr_info=SIZE(expr)
    info_length=N_ELEMENTS(expr_info)
    expr_type=expr_info(info_length-2)

; Get information about the type of state

    IF KEYWORD_SET(STRUCTURE) THEN BEGIN
        IF expr_type EQ 8 THEN BEGIN
; If it is a structure
            IF KEYWORD_SET(TAG) THEN BEGIN
                tags_expr=TAG_NAMES(expr)
                index = WHERE(tags_expr EQ UPCASE(tag),
count)
                IF count NE 0 THEN RETURN, 1 $
; TAG is defined

```

```
        ELSE RETURN, 0
; TAG is not defined
        ENDIF ELSE RETURN, 1
; Is a structure
        ENDIF ELSE RETURN, 0
; Is NOT a structure
        ENDIF ELSE BEGIN
; Keyword 'STRUCTURE' is not set
        IF N_ELEMENTS(expr) NE 0 THEN RETURN, 1  $
; expr is defined
        ELSE RETURN,0
; expr is NOT defined
        ENDELSE
END
```

Anhang D: Hinweise zur Installation von SLAP

Die CD enthält zwei Unterverzeichnisse

- „unix“
- „windows“

die die zur Installation nötigen Dateien enthalten.

Die beiden Verzeichnisse unterscheiden sich bezüglich der IDL – Programme nur in der Länge der Dateinamen. Bei Windows sind es maximal acht Zeichen für das Präfix des Dateinamens. Ab IDL für Windows, Version 5.0 können auch lange Dateinamen verarbeitet werden. Bei Unix dagegen müssen lange Dateinamen verwendet werden, wenn der Name des entsprechenden Unterprogramms acht Zeichen überschreitet.

Bei der Installation kann man nun folgendermaßen vorgehen:

Die Dateien der Unterverzeichnisse „slap“ und „jhu“ der CD werden in ein zuvor erstelltes IDL-Benutzerverzeichnis kopiert, z.B. in „C:\IDLusr“.

Unter Windows kopiert man nun die entsprechende DLL des Unterverzeichnisses „sharelib“ der CD in ein Verzeichnis, das standardmäßig nach ausführbaren Dateien durchsucht wird, z.B. in „C:\winnt\system“ oder „C:\windows\system“.

Die DLL's heißen:

- slap16.dll (für IDL für Windows, Version 3.6)
- slap32.dll (für IDL für Windows, Version 4.0 und höher)
- slap.so (für IDL für Unix, Betriebssystem IRIX 6.2)

Unter Unix kann man die DLL im Unterverzeichnis „sharelib“ lassen. Wird sie bei der Programmausführung gebraucht, kann man sie im Dialog auswählen. Wird ein anderes Betriebssystem als IRIX benutzt, muß die Datei mit dem c-Compiler des Systems neu kompiliert werden. Für die

entsprechenden Compiler- und Linkeroptionen lese man sich die Hinweise im Unterverzeichnis „sharelib“ der entsprechenden IDL-Distribution durch.

In IDL für Unix und in IDL für Windows müssen schließlich die Programmsuchpfade um das Verzeichnis „C:\IDLusr“ erweitert werden. Die Änderung muß anschließend gespeichert werden. Beim nächsten Neustart von IDL sollten die neuen Programmpfade dem Compiler bekannt sein.

Beispiel:

File -> Preferences -> Path -> ‘;+C:\IDLusr\’ -> Save Settings -> Ok

Durch das Plus vor dem Pfad werden alle Unterverzeichnisse von „IDLusr“ nach Programmen mit der Extension „PRO“ durchsucht.